

**Universidades Lusíada**

Carneiro, Cláudia Sofia Freitas

**Estudo do desempenho da luz natural na  
arquitetura vernacular : reabilitação de edifício  
na aldeia do Catarredor, Lousã**

<http://hdl.handle.net/11067/5993>

**Metadados**

**Data de Publicação**

2021

**Resumo**

A presente investigação de mestrado de Arquitetura centra-se no estudo do desempenho da luz natural na Arquitetura Vernacular através do programa de simulação de luz – DIALux® evo 9.1. Inserido na unidade curricular de Projeto III do 5º Ano, foi proposto uma intervenção do repovoamento das aldeias de xisto da Lousã, mais propriamente na aldeia do Catarredor, na qual posteriormente selecionou-se um edifício para uma reconstrução mais detalhada. A esse projeto concilia-se o tema principal desta dis...

The present research of the Master of Architecture focuses on the study of the performance of natural light in Vernacular Architecture through the Light Simulation program - DIALux® evo 9.1. Inserted in the curricular unit of Project III of the 5th year, an intervention was proposed to restock the shale villages of Lousã, more specifically in the village of Catarredor, in which a building was later selected for a more detailed reconstruction. This project is combined with the main theme of this ...

**Palavras Chave**

Iluminação Natural, Arquitetura vernacular, Reabilitação

**Tipo**

masterThesis

**Revisão de Pares**

no

**Coleções**

[ULF-FAA] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2023-05-04T16:38:57Z com  
informação proveniente do Repositório



Orientador: Professor Doutor Rogério Amoêda

**ESTUDO DO DESEMPENHO DA LUZ NATURAL NA ARQUITETURA VERNACULAR**  
Reabilitação de edifício na Aldeia do Catarredor, Lousã

## **ESTUDO DO DESEMPENHO DA LUZ NATURAL NA ARQUITETURA VERNACULAR**

Reabilitação de edifício na Aldeia do Catarredor, Lousã

**Cláudia Sofia Freitas Carneiro**



Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Arquitetura  
pela Universidade Lusíada Norte - Campus Vila Nova de Famalicão  
FAA - Faculdade de Arquitetura e Artes  
Fevereiro de 2021

2020  
2021



**UNIVERSIDADE LUSÍADA NORTE - CAMPUS DE VILA NOVA  
DE FAMALICÃO**

**ESTUDO DO DESEMPENHO DA LUZ NATURAL NA  
ARQUITETURA VERNACULAR**

Reabilitação de edifício na Aldeia do Catarredor, Lousã

**Cláudia Sofia Freitas Carneiro**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura

FAA – Faculdade Arquitetura e Artes

Vila Nova de Famalicão, Fevereiro de 2021



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização desta dissertação.

Aos professores da Universidade Lusíada de Vila Nova de Famalicão, em especial ao Professor Doutor Rogério Amoêda pela orientação, pelo apoio, pela dedicação, e pela partilha de conhecimentos que tão valiosos foram para esta investigação. Ao Professor Doutor Carlos Santos e Professor Doutor Henrique Fabião pela disponibilidade e apoio ao longo do ano letivo.

À minha família e amigos, em especial aos meus pais que fizeram com que este percurso académico se realizasse, pelo amor e compreensão. À Maria e ao Daniel por serem o meu suporte nos bons e maus momentos. Aos meus amigos da universidade, por todo o companheirismo ao longo destes cinco anos.

Sem o contributo destas pessoas esta dissertação não seria possível.

O meu muito obrigado a todos.



## ÍNDICE

Agradecimentos.....	III
Índice.....	V
Índice de Figuras.....	VII
Índice de Tabelas.....	XI
Resumo.....	XIII
Abstract.....	XV
Lista de siglas e abreviaturas.....	XVII
Introdução.....	1
<b>1. Luz Natural e Conforto Visual.....</b>	<b>7</b>
1.1. O Sol.....	8
1.2. Percurso do sol.....	9
1.3. Refletância.....	11
1.4. Importância da luz natural e os seus efeitos.....	14
1.5. Luz na arquitetura .....	16
1.5.1. Sistemas de admissão e controlo da luz natural.....	16
1.5.2. Iluminação lateral.....	17
1.5.3. Transmissão de luz visível e condutividade térmica nos vidros.....	17
1.5.4. Forma e posição dos vãos.....	18
1.5.5. Sistemas de controlo e sombreamento.....	20
1.5.6. Iluminação zenital.....	23
1.6. Conforto visual.....	30
<b>2. Grandezas e Unidades Fotométricas.....</b>	<b>35</b>
2.1. Fatores de absorção e reflexão.....	38
2.2. Transmissão de luz visível e condutividade térmica nos vidros.....	40
<b>3. Simulação da Luz Natural.....</b>	<b>45</b>
3.1. Ferramentas de Simulação da Luz Natural.....	45
3.2. Programa DIALux® evo 9.1 .....	45
<b>4. Simulação das condições de Luz Natural aplicada a um caso de estudo.....</b>	<b>55</b>
4.1. Caracterização da Aldeia do Catarredor.....	55

4.1.1. Enquadramento geográfico .....	56
4.1.2. Aspetos climáticos.....	57
4.1.3. Caracterização construtiva das edificações existentes .....	62
4.2. Caso de estudo: Queijaria artesanal.....	65
4.2.1. Identificação do edifício.....	65
4.2.2. Proposta de intervenção.....	68
4.3. Aplicação do DIALux® evo 9.1 no projeto da Queijaria Artesanal.....	73
4.3.1. Parâmetros computacionais e dados de entrada.....	74
4.3.2. Plano de trabalho.....	74
4.3.3. Grelha de iluminância.....	74
4.3.4. Necessidades de iluminação.....	75
4.3.5. Valor de refletância de luz (LRV).....	76
4.3.6. Propriedades dos vidros.....	77
4.3.7. Cenários parametrizados e resultados obtidos.....	77
4.3.8. Resultados obtidos.....	80
4.3.9. Discussão dos resultados.....	82
Conclusões.....	89
Webgrafia / Bibliografia.....	91
Anexos.....	95



## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> – Diagrama esquemático do espectro eletromagnético. Adaptado de Kitsinelis (2011:12).....	7
<b>Figura 2</b> – Percurso do sol. Desenho elaborado pela autora.....	9
<b>Figura 3</b> – Reflexão da luz em superfícies. Desenho elaborado pela autora.....	11
<b>Figura 4</b> – Reflexão da luz em superfícies. Desenho elaborado pela autora.....	11
<b>Figura 5</b> – Reflexão da luz em superfícies. Desenho elaborado pela autora.....	12
<b>Figura 6</b> – Comportamento da energia incidente numa determinada superfície. Desenho elaborado pela autora.....	12
<b>Figura 7</b> – Dispersão da cor branca através de um prisma. Fonte: <a href="https://www.google.com/search?q=prisma+cores&amp;source=lnms&amp;tbm=isch&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwjMj5mFzKXtAhVPA2MBHQz6CSwQ_AUoAXoECAQQAw&amp;biw=1536&amp;bih=698&amp;dpr=1.25#imgsrc=aCx9Z63GsZ4IEM&amp;imgdii=m10NWWqhBZT4MM">https://www.google.com/search?q=prisma+cores&amp;source=lnms&amp;tbm=isch&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwjMj5mFzKXtAhVPA2MBHQz6CSwQ_AUoAXoECAQQAw&amp;biw=1536&amp;bih=698&amp;dpr=1.25#imgsrc=aCx9Z63GsZ4IEM&amp;imgdii=m10NWWqhBZT4MM</a> .....	13
<b>Figura 8</b> – Distribuição da luz natural dentro de um espaço. Adaptado de Corrodi e Spechtenhauser, (2008:138).....	17
<b>Figura 9</b> – Distribuição da luz para cada tipo de vãos, com a área de vidro igual. Adaptado de Bell e Burt, (1995:56).....	18
<b>Figura 10</b> – Influência da posição dos vãos. Adaptado de Corrodi e Spechtenhauser, (2008:139).....	19
<b>Figura 11</b> – Profundidade da luz lateral dentro de um espaço. Adaptado de Corrodi e Spechtenhauser, (2008:133).....	19
<b>Figura 12</b> – Pala horizontal e vertical. Desenho elaborado pela autora. ....	20
<b>Figura 13</b> – Tipologias de palas de luz. Desenho elaborado pela autora.....	21
<b>Figura 14</b> – Esquema de pala plana e pala curva respetivamente. Desenho elaborado pela autora.....	21
<b>Figura 15</b> – Sistemas de controlo da luz natural – Persianas. Fonte: <a href="http://www.detail.de/artikel_koester-lichtplanung-sun-protectionlouvres_23759_En.htm">www.detail.de/artikel_koester-lichtplanung-sun-protectionlouvres_23759_En.htm</a> .....	21
<b>Figura 16</b> – Controlo da radiação solar através de lâminas. Desenho elaborado pela autora.....	22
<b>Figura 17</b> – Controlo da radiação solar através da vegetação. Desenho elaborado pela autora.....	22
<b>Figura 18</b> – Tipos de aberturas para iluminação zenital. Desenho elaborado pela autora...	23
<b>Figura 19</b> – Centro desportivo Llobregat, Álvaro Siza Vieira. Fonte: site Archdaily - <a href="https://www.archdaily.com.br/br/787506/classicos-da-arquitetura-centroesportivo-llobregat-alvaro-siza-vieira/526181a9e8e44e88a00000d3-classicos-da-arquitetura-centro-esportivo-llobregat-alvaro-siza-vieira-foto">https://www.archdaily.com.br/br/787506/classicos-da-arquitetura-centroesportivo-llobregat-alvaro-siza-vieira/526181a9e8e44e88a00000d3-classicos-da-arquitetura-centro-esportivo-llobregat-alvaro-siza-vieira-foto</a> .....	24

<b>Figura 20</b> – Claraboias verticais e lanternins. Desenho elaborado pela autora.....	24
<b>Figura 21</b> – Aberturas shed. Desenho elaborado pela autora.....	25
<b>Figura 22</b> – Distribuição da luz natural através de uma abertura central. Desenho elaborado pela autora.....	25
<b>Figura 23</b> – Faculdade de Ciências da Educação da Universidade de Lleida, Álvaro Siza Vieira. Fonte: <a href="https://www.grupo-sanjose.com/pt/p_FACULDADE-DE-CI%C3%84NCIAS-DAEDUCA%C3%87%C3%83O-DA-UNIVERSIDADE-DE-LLEIDA_105">https://www.grupo-sanjose.com/pt/p_FACULDADE-DE-CI%C3%84NCIAS-DAEDUCA%C3%87%C3%83O-DA-UNIVERSIDADE-DE-LLEIDA_105</a> .....	26
<b>Figura 24</b> – Tubo refletor de luz. Adaptado de Skowranek, (2017:24). ....	27
<b>Figura 25</b> – Igreja Santa Maria de Álvaro Siza Vieira. Fonte: <a href="https://www.igrejasantamaria.pt/">https://www.igrejasantamaria.pt/</a> e <a href="https://es.wikiarquitectura.com/edificio/iglesia-en-marco-de-canavezes/#corte-iglesia-enmarco-de-canavezes">https://es.wikiarquitectura.com/edificio/iglesia-en-marco-de-canavezes/#corte-iglesia-enmarco-de-canavezes</a> .....	27
<b>Figura 26</b> – Sistemas de fibras óticas com difusores. Fonte: <a href="https://blog.domoticadavinci.com/">https://blog.domoticadavinci.com/</a> .....	28
<b>Figura 27</b> – Esquema de captação da luz direta e indireta pelos painéis prismáticos. Adaptado de IEA, (2000:4-41).....	29
<b>Figura 28</b> – Plano de trabalho. Desenho elaborado pela autora.....	32
<b>Figura 29</b> – Fluxo luminoso. Desenho elaborado pela autora.....	35
<b>Figura 30</b> – Intensidade luminosa. Desenho elaborado pela autora.....	35
<b>Figura 31</b> – Iluminância. Desenho elaborado pela autora.....	36
<b>Figura 32</b> – Luminância. Desenho elaborado pela autora.....	37
<b>Figura 33</b> – Comportamento da luz. Desenho elaborado pela autora.....	37
<b>Figura 34</b> – Esquema das várias componentes da luz natural. Desenho elaborado pela autora.....	40
<b>Figura 35</b> – Modo de entrada no programa DIALux® evo 9.1.....	46
<b>Figura 36</b> – Ferramentas do programa DIALux® evo 9.1.....	47
<b>Figura 37</b> – Configurações gerais da ferramenta “Construção” no programa DIALux® evo 9.1.....	47
<b>Figura 38</b> – Localização e orientação do projeto no programa DIALux® evo 9.1.....	47
<b>Figura 39</b> – Catálogos disponíveis no programa DIALux® evo 9.1.....	48
<b>Figura 40</b> – Configurações gerais da ferramenta “Luz” no programa DIALux® evo 9.1....	48
<b>Figura 41</b> – Configurações dos cenários de iluminação no programa DIALux® evo 9.1.....	49
<b>Figura 42</b> – Configurações gerais da ferramenta “Objetos de cálculo” no programa DIALux® evo 9.1.....	49

<b>Figura 43</b> – Configurações gerais da ferramenta “Exportar” no programa DIALux® evo 9.1.....	50
<b>Figura 44</b> – Configurações gerais da ferramenta “Documentação” no programa DIALux® evo 9.1. ....	51
<b>Figura 45</b> – Modo de calcular a luz no programa DIALux® evo 9.1.....	51
<b>Figura 46</b> – Barra de visualização do projeto no programa DIALux® evo 9.1.....	52
<b>Figura 47</b> – Opções de exibição – cores falsas no programa DIALux® evo 9.1.....	52
<b>Figura 48</b> – Aldeia do Catarredor. Autor das Fotografias: Júlio Oliveira.....	55
<b>Figura 49</b> – Localização da Serra da Lousã. Desenho elaborado pela autora.....	56
<b>Figura 50</b> – Localização das aldeias de xisto da serra da Lousã. Fonte cartográfica: Carta militar de Portugal, folha nº252, IGC, Lisboa, 2002.....	57
<b>Figura 51</b> – Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Resumo meteorológico. Fonte: weatherspark.com.....	58
<b>Figura 52</b> – Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Temperaturas máximas e mínimas médias. Fonte: weatherspark.com.....	59
<b>Figura 53</b> – Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Categorias de nebulosidade. Fonte: weatherspark.com.....	59
<b>Figura 54</b> – Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Horas de luz solar e crepúsculo. Fonte: weatherspark.com.....	60
<b>Figura 55</b> – Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Nascer e pôr-do-sol com crepúsculo e luz solar no horário de verão. Fonte: weatherspark.com.....	60
<b>Figura 56</b> – Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Média diária de energia solar de ondas curtas incidente. Fonte: weatherspark.com.....	61
<b>Figura 57</b> – Fotografias das várias tipologias de janelas na aldeia do Catarredor. Fotografias da autora.....	64
<b>Figura 58</b> – Claraboias nos telhados inclinados na aldeia do Catarredor. Autor das fotografias: Júlio Oliveira.....	64
<b>Figura 59</b> – Localização do edifício na aldeia do Catarredor. Fonte: Google maps – Catarredor.....	65
<b>Figura 60</b> – Fotografias do edifício no exterior. Fotografias da autora.....	65
<b>Figura 61</b> – Fotografias do edifício no exterior. Fotografias da autora.....	65
<b>Figura 62</b> – Planta da localização da Queijaria Artesanal na aldeia do Catarredor. Desenho elaborado pela autora.....	66
<b>Figura 63</b> – Fotografias do interior e exterior da queijaria em ruínas na aldeia do Catarredor. Fotografias da autora.....	67 e 68

<b>Figura 64</b> – Plantas da queijaria artesanal na aldeia do Catarredor - Antes. Desenho elaborado pela autora.....	69
<b>Figura 65</b> – Plantas da queijaria artesanal na aldeia do Catarredor – Depois. Desenho elaborado pela autora.....	69
<b>Figura 66</b> – Medidas dos vãos característicos da aldeia do Catarredor. Desenho elaborado pela autora.....	70
<b>Figura 67</b> – Medidas dos novos vãos. Desenho elaborado pela autora.....	70
<b>Figura 68</b> – Perspetivas da queijaria artesanal: a), b), c), e d) – Perspetivas do exterior da Queijaria Artesanal; e) e f) – Perspetivas do interior da Queijaria Artesanal. Produzidas no programa Archicad® 23 pela autora.....	71 e 72
<b>Figura 69</b> – Identificação do plano de trabalho em 3D e planta.....	74
<b>Figura 70</b> – Cenário 1: vistas do interior e exterior reconstruído.....	78
<b>Figura 71</b> – Cenário 2: vistas do interior e exterior reconstruído com ducto de luz.....	78 e 79
<b>Figura 72</b> – Cenário 3: vistas do interior reconstruído com ducto de luz e revestimento de gesso cartonado branco nas paredes e teto.....	79 e 80
<b>Figura 73</b> – Mapas de iluminância para o Solstício de Inverno no plano de trabalho às 12:00h para os Cenários 1, 2 e 3 respetivamente.....	83
<b>Figura 74</b> – Renderizações 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 12:00h para os cenários 1, 2 e 3 respetivamente.....	83 e 84
<b>Figura 75</b> – Mapas de iluminâncias para o Solstício de Verão no plano de trabalho às 12:00h para os Cenários 1, 2 e 3 respetivamente.....	84
<b>Figura 76</b> – Renderizações 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 12:00h para os cenários 1, 2 e 3 respetivamente.....	85
<b>Figura 77</b> – Gráfico da comparação entre a iluminação média ( $\bar{E}$ ) para os cenários 1, 2 e 3 nos solstícios de inverno e verão.....	86
<b>Figura 78</b> – Cenário 3 com sistema de sombreamento.....	87

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Iluminâncias recomendadas cada tipo de atividade, pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE).....	31
<b>Tabela 2</b> - Iluminâncias recomendadas no plano de trabalho em edifícios residenciais pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE).....	31
<b>Tabela 3</b> - Tabela de refletâncias dos materiais e cores. Adaptado de Rodrigues, (2002)....	38
<b>Tabela 4</b> - Transmissão de luz visível (T) e coeficiente de condutividade térmica (Ug) calculados para diferentes espessuras de vidro simples. Fonte: Schittich et al. (2007:61) e EN 410:2011 (Comité Européen de Normalisation, 2011).....	41
<b>Tabela 5</b> - Propriedades térmicas e óticas para referência de vidros padrão em EN ISO 52022-1:2017. Fonte: EN ISO 52022-1:2017.....	42
<b>Tabela 6</b> - Espaçamento dos pontos da grelha recomendado pela prEN 12464-1 (CEN, 2019: 67) para o caso de estudo. Fonte: CEN, 2019: 67.....	75
<b>Tabela 7</b> - Espaçamento dos pontos da grelha para o caso de estudo.....	75
<b>Tabela 8</b> - Atividades Industriais e Artesanais - Alimentos e Indústria Alimentar de Luxo pela prEN 12464-1 (CEN, 2019:34). Fonte: CEN, 2019:34.....	76
<b>Tabela 9</b> - Valores de refletância da luz (LRV) para a superfície dos materiais internos no cenário 1 e 2.....	76
<b>Tabela 10</b> - Valores de refletância da luz (LRV) para a superfície dos materiais internos no cenário 3.....	77
<b>Tabela 11</b> - Caracterização dos envidraçados para as aberturas da fachada indicadas nas plantas.....	77
<b>Tabela 12</b> - Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 1.....	81
<b>Tabela 13</b> - Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 2.....	81
<b>Tabela 14</b> - Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 3.....	82
<b>Tabela 15</b> - Percentagem de melhoria para iluminação (E) e fator de luz do dia (DF) na primeira coluna entre o cenário 1 e o cenário 2, na segunda coluna entre o cenário 1 e o cenário 3.....	85
<b>Tabela 16</b> - Resumo dos novos resultados obtidos para o Cenário 3.....	87



## RESUMO

A presente investigação de mestrado de Arquitetura centra-se no estudo do desempenho da luz natural na Arquitetura Vernacular através do programa de simulação de luz – DIALux® evo 9.1. Inserido na unidade curricular de Projeto III do 5º Ano, foi proposto uma intervenção do repovoamento das aldeias de xisto da Lousã, mais propriamente na aldeia do Catarredor, na qual posteriormente selecionou-se um edifício para uma reconstrução mais detalhada. A esse projeto concilia-se o tema principal desta dissertação, a Luz Natural, que surge como uma oportunidade de demonstrar a importância do tema no desenvolvimento e decisões projetuais, com um desafio maior de salvaguardar a ruína existente a fim de preservar a Arquitetura Vernacular.

Tem como objetivo aprofundar o conhecimento da luz natural, entender as suas características e o seu funcionamento, qual a sua importância na vida quotidiana e os seus efeitos, quer no Ser humano, quer nos edifícios, e ainda conhecer as estratégias/soluções construtivas existentes para um adequado aproveitamento da luz natural na arquitetura conforme as necessidades de cada edifício. Para melhor otimização do desempenho da luz natural dentro do edifício aplica-se o programa DIALux® evo 9.1 como uma ferramenta de experimentação das diferentes soluções existentes, este tem a capacidade de modelar a edificação e avaliar a quantidade e qualidade da luz natural e artificial nas diversas fases do projeto, permite fazer várias experiências com diferentes cenários, possibilitando a sua alteração sempre que for necessário com resultados imediatos.

Com o uso deste programa de simulação, consegue-se aplicar a solução que melhor se adequa ao local, à forma e à função do edifício, satisfazendo os requisitos exigidos pelas normas, contribuindo assim para a redução das necessidades energéticas, melhorando as condições de conforto interno e o desempenho eficiente das tarefas, valorizando sempre a segurança do utilizador e o património local.

Palavras-chave: Iluminação natural, Arquitetura Vernacular, Reabilitação, DIALux® evo 9.1.





## **ABSTRACT**

The present research of the Master of Architecture focuses on the study of the performance of natural light in Vernacular Architecture through the Light Simulation program - DIALux® evo 9.1. Inserted in the curricular unit of Project III of the 5th year, an intervention was proposed to restock the shale villages of Lousã, more specifically in the village of Catarredor, in which a building was later selected for a more detailed reconstruction. This project is combined with the main theme of this dissertation, Natural Light, which appears as an opportunity to demonstrate the importance of the theme in development and design decisions, with a greater challenge of safeguarding the existing ruin in order to preserve Vernacular Architecture.

It aims to deepen the knowledge of natural light, understand its characteristics and how it works, what is its importance in daily life and its effects, both on humans and buildings, and also to know the existing strategies / constructive solutions for an adequate use of natural light in architecture according to the needs of the building. To better optimize the performance of natural light inside the building, DIALux® evo 9.1 program is applied as a tool for experimenting with the different existing solutions, it has the ability to model the building and evaluate the quantity and quality of natural and artificial light in the different phases of the project, it allows to make several experiments with different scenarios, allowing its alteration whenever necessary with immediate results.

With the use of this simulation program, it was possible to apply the solution that best suits the place, the shape and the function of the building, satisfying the requirements demanded by the standards, thus contributing to the reduction of energy needs, improving comfort conditions internal and efficient performance of tasks, always valuing user safety and local heritage.

**Keywords:** Natural lighting, Vernacular architecture, Rehabilitation, DIALux® evo 9.1.



## Lista de siglas e abreviaturas

A - Área

ADXTUR - Agência para o Desenvolvimento Turístico das Aldeias do Xisto

$A_p$  - Área projetada da superfície

cd - Candela

CIE - Comissão Internacional de iluminação

cm - Centímetros

DF - Fator luz-dia

DIAL - Instituto Alemão de Tecnologia de Iluminação Aplicada

E - Iluminância

$\bar{E}$  - Iluminância média

$E_D$  - Iluminância direta do céu se visível do ponto interno considerado

$E_{ER}$  - Iluminância devido aos reflexos no ambiente externo

$E_h$  - Iluminância horizontal

$E_i$  - Fator luz-dia total num ponto de um plano interior

$E_{IR}$  - Iluminância devido aos reflexos nas superfícies internas  $E_v$  - iluminância vertical

$E_{max}$  - Iluminância máxima

$E_{min}$  - Iluminância mínima

$E_o$  - Iluminância exterior

FAA – Faculdade de Arquitetura e Artes

$I_o$  - Intensidade do fluxo de luz incidente

$I_R$  - Intensidade do fluxo de luz refletido

$I_v$  - Intensidade luminosa

J1 - Janela 1

J2 - Janela 2

J3 - Janela 3

kWh - Quilowatt-hora

lm - Lúmen

LRV - Valor da refletância da luz

$L_v$  - Luminância

lx - Lux

m - Metros

m<sup>2</sup> - Metros quadrados

nm - Nanômetros

P1 - Porta 1

P2 - Porta 2

R<sub>λ</sub> - Índice reflexivo

SF - Fator Solar

SHGC - Solar Heat Gain Coefficient

sr - Esteradiano

T - Transmissão de luz

U<sub>0</sub> ou g<sup>1</sup> - Uniformidade geral

3D – Três dimensões

## INTRODUÇÃO

A luz é uma fonte vital para a vida diária das pessoas e para o ecossistema da Terra, a sua relação com o espaço é um elemento crucial na arquitetura, na medida em que representa um fator determinante na forma como se percebe e interpreta o espaço, é através da luz que percebemos a forma. A luz natural é nos dada de modo gratuita e deve ser aproveitada a favor da comunidade, desta forma o arquiteto possui um papel fundamental na maneira como a manipula dentro de um edifício.

Foi a partir da luz artificial que houve um despertar de consciência para a importância da luz natural no quotidiano das pessoas, na responsabilidade do seu controlo e aplicação eficaz na forma como se projeta, visto que a iluminação artificial em demasia ou fora do período noturno gera elevado consumo energético e problemas de saúde aos seus utilizadores.

Esta dissertação é uma combinação entre a necessidade e o interesse pessoal. Através da proposta de trabalho desenvolvida na unidade curricular de projeto III ao longo do ano letivo, cujo tema é a repovoação de uma das aldeias de xisto na Lousã, mais propriamente na aldeia do Catarredor, foi possível selecionar um dos edifícios cuidadosamente para posterior ligação com a tese de mestrado, introduzindo a Luz Natural na Arquitetura Vernacular sem interferir com a ruína existente. Cujo objetivo principal é demonstrar a importância da Luz natural quer no desenvolvimento e decisões projetuais, quer na vida quotidiana das pessoas; entender as suas características e o seu funcionamento; conhecer as estratégias/soluções construtivas existentes para uma adequada aplicação da luz natural na arquitetura conforme os requisitos do edifício e dos seus utilizadores; e ainda apelar ao respeito pela identidade do local.

Para maximizar o desempenho da luz natural dentro do edifício aplica-se um programa de simulação. As ferramentas de simulação em arquitetura são cada vez mais utilizadas para prever o comportamento de edifícios durante a sua fase projetual, têm-se provado indispensáveis para reduzir as necessidades energéticas auxiliando arquitetos, engenheiros e designers no desenvolvimento de projetos. Exemplos de ferramentas disponíveis para simulação de iluminação são Radiance®, Ecotect® (agora incluído no Autodesk Revit®), EnergyPlus® e DIALux® evo, entre outros. O programa escolhido para o desenvolvimento deste projeto foi o DIALux® evo 9.1 pois é um sistema gratuito e de fácil aprendizagem, tem a capacidade de modelar a edificação e avaliar a quantidade e qualidade da luz natural e artificial nas diversas fases do projeto, permite fazer várias experiências com diferentes cenários, possibilitando a sua alteração sempre que for necessário com resultados imediatos.

No final ainda apresenta um relatório técnico com as plantas de linhas isográficas, os mapas de iluminância de cada cenário e tabelas com os dados dos resultados da iluminância média, máxima e mínima, e fator luz-dia médio, máximo e mínimo para cada cenário.

Para este estudo utilizou-se a seguinte metodologia:

- Seleção de um caso de estudo que correspondeu ao projeto elaborado na unidade curricular de projeto III;
- Avaliar os valores de iluminância interiores da proposta de referência (cenário 1) através do programa de simulação de iluminação;
- Introduzir soluções adicionais de melhoria dos valores de iluminância interiores (cenários 2 e 3) através do programa de simulação de iluminação;
- Análise e comparação dos resultados obtidos para os diferentes cenários.

Esta dissertação divide-se em duas partes, uma teórica e uma prática. O primeiro capítulo identifica o estado da arte através da pesquisa bibliográfica, recolha de normas técnicas, regulamentos e estudo das temáticas, tendo como objetivo o enquadramento dos conceitos relativos ao tema principal, a Luz, como funciona, o percurso do sol, o impacto da luz na qualidade de vida das pessoas, os seus efeitos quando em incidência com determinada superfície dos materiais. Assim como a influência da luz natural na arquitetura, como sistemas de admissão e controlo da luz solar, os vários tipos de iluminação, tipos de vãos e sistemas de sombreamento. Por fim, uma definição de conforto visual, indispensável para o desempenho eficaz das tarefas visuais sem comprometer a saúde e a segurança dos seus utilizadores, as suas vantagens e desvantagens, e apresentação das iluminâncias recomendadas identificando as necessidades para cada tipo de atividade por meio de tabelas e regulamentos.

O segundo capítulo demonstra como é calculada a luz, esclarecendo os conceitos que representam as grandezas da luz, como se medem, quais as equações correspondentes, as refletâncias de cada material e cor, o fator luz-dia, a transmissão de luz visível e a condutividade térmica nos vidros. Estas fórmulas são de importante conhecimento, uma vez que o programa as utiliza para calcular automaticamente a quantidade de luz.

O terceiro capítulo explica como funciona o programa de simulação através da análise ao programa sobre fotografia de ecrã, explicando passo a passo cada etapa do processo, para melhor perceção das capacidades do programa e dos dados a inserir necessários para gerar os cálculos das iluminâncias.

O quarto, e último capítulo, mediante a recolha e análise de dados no local ao longo do 5º ano letivo, apresenta o caso de estudo, a sua localização, os aspetos climáticos da aldeia, uma breve explicação das tipologias das casas e dos vãos existentes na aldeia, e a caracterização do edifício. Utilizou-se o programa de simulação DIALux® evo 9.1 para calcular os valores das iluminâncias interiores no caso de estudo e para o melhorar, introduzindo novas soluções no sentido de maximizar a sua componente de luz natural, cujo objetivo é atingir os níveis de conforto visual exigidos e o parâmetro de eficiência energética do edifício. Com a análise dos resultados obtidos através das plantas, das tabelas e dos mapas de iluminância dadas pelo programa é possível discutir os resultados obtidos e aplicar o cenário que melhor se adequa ao edifício, satisfazendo os requisitos exigidos pelas normas.





## **1. LUZ NATURAL E CONFORTO VISUAL**



## 1. Luz Natural e Conforto Visual

Este capítulo tem como objetivo a análise da importância da luz natural, compreender melhor as suas características, como interferem na vida do Homem, os seus efeitos psicológicos, quais as vantagens e desvantagens, para posteriormente saber aplicar na arquitetura. Os principais fatores da disponibilidade da luz natural são o clima do local, as condições morfológicas, a orientação do edifício e o percurso do sol. É preciso atender a estas questões aquando o processo de estudo do edifício para criar conforto ambiental, maior proveito da iluminação natural e reduzir os gastos energéticos.

Cientificamente, a luz é caracterizada pela radiação eletromagnética com um comprimento de onda visível ao olho humano, ou seja, a luz visível é apenas uma parte do espectro eletromagnético onde o olho humano é sensível a comprimentos de onda na faixa espectral entre 380 a 780 nm (nanômetros), (SLL, 2009:1). A energia nessa faixa de comprimento de onda é absorvida pelos fotorreceptores do olho humano, originando o processo da visão. O olho humano alcança a energia luminosa refletida e converte-a em impulsos nervosos conduzidos ao cérebro, que são transportados na imagem do objeto observado. Os comprimentos de onda existentes na luz natural divergem ao longo do dia, com a latitude, condições meteorológicas e estação ao longo do ano.

O espectro eletromagnético contém ainda mais dois tipos de radiações: a radiação ultravioleta e a radiação infravermelha, situados na parte invisível do espectro, como se pode verificar na figura 1 que demonstra a localização do espectro visível e as suas divisões entre os diferentes tipos de radiação eletromagnética.

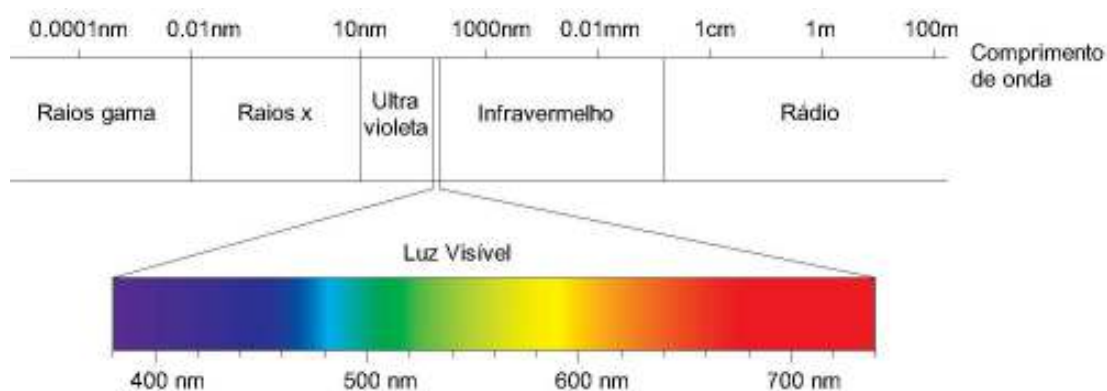


Fig.1 - Diagrama esquemático do espectro eletromagnético. Adaptado de Kitsinelis (2011:12).

A radiação ultravioleta é produzida pelo sol, e formada por radiações mais energéticas do que a luz, numa faixa de 100 a 380 nanómetro, grande parte é absorvida pela camada de ozono, chegando à superfície terrestre uma pequena proporção, que ainda assim pode causar danos significativos. A radiação infravermelha, mais conhecida como a radiação térmica é invisível ao olho humano, onde o seu principal efeito são as suas propriedades de aquecimento. (Kitsinelis, 2011:6)

## 1.1 O Sol

A fonte principal de luz visível é a luz do sol cuja radiação solar irradia energia para todo o espaço. Essa energia pode ser absorvida, refletida ou espalhada ao atravessar a atmosfera terrestre. Apenas uma parte chega diretamente à superfície terrestre através de raios de luz, produzindo sombras fortes e nítidas, a outra parte é espalhada na atmosfera por nuvens, poeiras, vapor de água e outros elementos em suspensão no ar, ocorre com o céu nublado e é designada como luz difusa.

A disponibilidade da luz natural varia em magnitude, latitude e longitude geográfica, como por exemplo a proximidade da costa oceânica ou a grandes massas de água, é uma mais-valia devido à sua capacidade de refletir grande parte da luz natural. Varia com a orientação do sol, estações do ano, período do dia, tipos de céu e com as características atmosféricas, como a qualidade do ar, uma vez que os níveis de luz natural são alterados pelas camadas de ar. As zonas urbanas são mais propensas a deixar o ar cheio de partículas e gases poluentes.

A International Energy Agency (IEA) (2000:2) determina três tipos de céu, o claro, o parcialmente encoberto e o encoberto.

O céu claro apresenta-se como uma atmosfera limpa, sem nuvens e de baixa nebulosidade, com um nível de iluminância de valores entre 60.000 a 100.000 lux, e de concentração de nuvens de 0% a 35%.

O céu parcialmente encoberto caracteriza-se por uma atmosfera intermédia entre o céu claro e o céu encoberto, e o seu nível de iluminância depende do posicionamento do sol no céu onde a concentração de nuvens varia entre os 35% a 75%.

O céu encoberto apresenta-se como uma atmosfera preenchida por nuvens, onde o nível de iluminância é de 5.000 a 20.000 lux e de concentração de nuvens é de 75% a 100%.

## 1.2. Percurso do sol

O sol é a principal fonte de energia (radiação solar) do nosso planeta, chegando sob a forma de calor e de luz visível. Assim, a orientação solar é um fator importante a ter em consideração no estudo das soluções arquitetônicas. Para prever a posição do sol é necessário conhecer o seu posicionamento diário e anual. O movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo polar, origina diferentes posicionamentos diários da superfície terrestre em relação ao Sol (Goulding et al. 1992:19), (ver na figura 2).

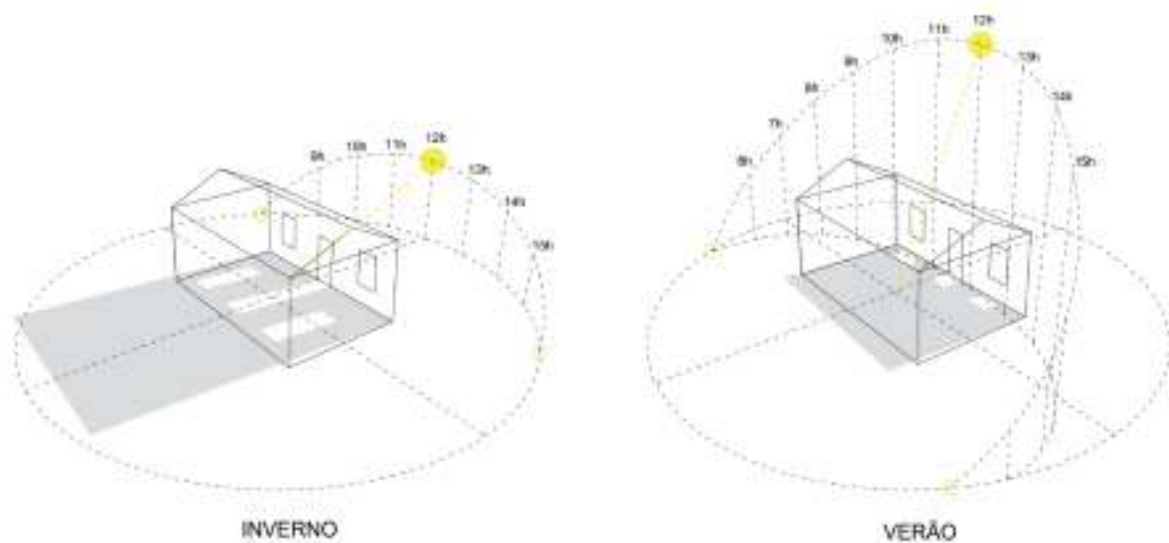


Fig. 2 - Percurso do sol. Desenho elaborado pela autora.

No verão, os ângulos de radiação solar atingem maiores altitudes do que no inverno, sendo esta variação resultado do movimento de translação da terra em torno do sol (Goulding et al. 1992:19), fazendo com que as temperaturas sejam mais elevadas no verão do que no inverno. A temperatura varia de acordo com as inclinações do sol, ou seja, ao nascer do sol e ao pôr-do-sol, com menor altura, os raios solares atingem a terra com maior obliquidade, o que faz com que a temperatura seja menor pois atinge maior superfície terrestre. O contrário acontece quando o sol atinge a sua altitude máxima - o ponto zenital, onde os raios que atingem a superfície são verticais, logo a temperatura é maior quando atinge uma superfície menor.

Conhecer o movimento do sol ao longo do ano é fundamental para prever a forma do edifício e a sua orientação mais eficaz, assim como organizar os compartimentos no seu interior, e a disposição, quantidade e tamanho das aberturas dos vãos exteriores, com a intenção de maximizar os ganhos solares, quer na iluminação natural, quer no aquecimento do interior. A quantidade de luz natural recebida no interior das construções depende das condições

atmosféricas, da disposição do terreno, da quantidade de sombreamento, das superfícies envolventes e dos acabamentos exteriores, algo que deve ser controlado já que em demasia pode causar ofuscamento e excesso de calor.

Para a latitude em Portugal recomenda-se as seguintes orientações das fachadas envidraçadas num edifício, com base no livro (Corrodi e Spechtenhauser, 2008:170-171):

As fachadas orientadas a norte não obtêm grande radiação direta, apenas no verão recebe uma pequena parte de radiação solar no início da manhã e no fim da tarde, sendo mais constante receber luz difusa e luz refletida pelas superfícies envolventes, criando ganhos mínimos de calor e perdas térmicas nas épocas frias. A orientação a norte é a melhor opção para quando a incidência da radiação solar não for a mais conveniente.

As fachadas orientadas a este/nascente, no verão, obtêm bastante radiação solar direta durante a maior parte da manhã até ao meio dia, uma vez que o sol nasce mais próximo da orientação nordeste. O oposto acontece no inverno, onde se obtêm pouca radiação direta durante poucas horas da manhã onde o sol nasce mais próximo da orientação sudeste.

As fachadas orientadas a sul, em termos anuais são as que recebem maior nível de radiação solar. No verão o percurso do sol é mais próximo da zénite, havendo maior necessidade de minimizar os ganhos solares. A nível horizontal – as claraboias são as que estão mais expostas à radiação solar direta. Em contra posição no inverno, há maior necessidade de aquecer os edifícios, tendo em conta que a inclinação do percurso do sol se encontra mais baixo é uma vantagem para originar maiores ganhos solares.

As fachadas orientadas a oeste/poente, no verão são expostas a grande radiação solar ao longo de toda a tarde, até ao pôr-do-sol que está mais próximo da orientação noroeste, fazendo com que se obtenha grandes cargas térmicas, o que consequentemente cria problemas ao nível da proteção dos vãos. O contrário acontece no inverno, onde se obtém pouca radiação direta durante poucas horas da tarde na qual o sol se põem mais próximo da orientação sudoeste.

### 1.3. Refletância

Quando a energia solar incide numa superfície, essa energia pode ser absorvida ou refletida pelo material, dependendo da superfície do objeto iluminado. A superfície do objeto pode ser opaca, de baixa reflexão; polida com reflexão; e espelhada com muita reflexão. Segundo Egan & Olgyay (2002:57), a reflexão pode ser difusa, especular e dispersa.

A reflexão difusa ocorre quando os raios de luz incidem numa superfície irregular, como por exemplo a madeira ou o gesso, sendo a radiação refletida de modo igual em todas as direções, espalhando a luz, conforme representado na Figura 3.



Fig. 3 - Reflexão da luz em superfícies. Desenho elaborado pela autora.

A reflexão especular ocorre quando os raios de luz incidem numa superfície polida e são refletidos na mesma direção, ou seja o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência, como por exemplo nos espelhos e metais, materiais que apresentam a mesma refletividade para todos os comprimentos de onda do espectro visível (ver figura 4). Existe a probabilidade de refletir totalmente as imagens de luz visível na superfície, podendo causar desconforto ao criar ofuscamento e reduzir a visibilidade.



Fig. 4 - Reflexão da luz em superfícies. Desenho elaborado pela autora.

A reflexão dispersa resulta da existência de irregularidades nas superfícies espelhadas (ver figura 5).

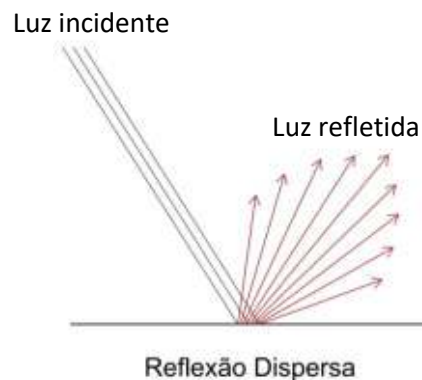


Fig. 5 - Reflexão da luz em superfícies. Desenho elaborado pela autora.

A natureza do material é um grande influenciador no tipo de reflexão que se pretende, quanto mais irregularidades apresentar, mais variações na direção da luz refletida irá ter. Por isso é importante saber escolher o tipo de material, não só pela textura, como também pela cor e espessura, pois este vai influenciar o comportamento térmico e luminoso de um espaço e o conforto visual proporcionado aos utilizadores. Estrategicamente, pode ser um fator essencial na obtenção de luz interior nos edifícios, visto que as superfícies lisas de reflexão especular conseguem manipular a direção da luz natural, permitindo assim contornar obstáculos e iluminar de forma indireta os espaços interiores das edificações.

Dependendo do coeficiente de reflexão e do fator de absorção de uma determinada superfície de um material, a radiação solar incidente não é 100% refletida, uma parte da energia incidente é refletida para o exterior e a outra parte é absorvida pela superfície, provocando o aquecimento do material através da condução da energia para o interior (ver figura 6).

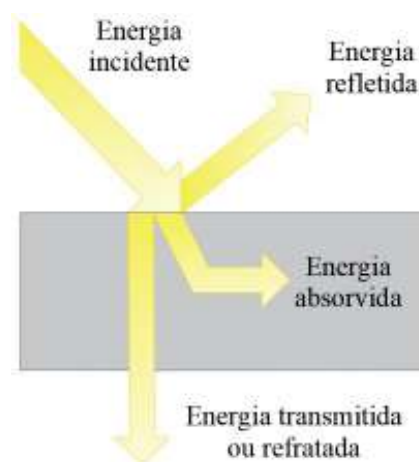


Fig. 6 - Comportamento da energia incidente numa determinada superfície. Desenho elaborado pela autora.



Outro efeito da propagação das ondas de luz é a refração. A refração ocorre quando a luz passa entre dois meios transparentes, como por exemplo do ar para a água, a velocidade com que se propagam os dois meios é distinta, provocando um desvio no ângulo e na trajetória da propagação da luz. Também é conhecida pela divisão da luz branca em cores através de um prisma. De acordo com a figura 7, quando a luz branca passa através de um prisma de vidro, os comprimentos de onda separam-se e refletem em várias direções formando um espectro visível de cores. Para cada frequência de luz visível é associada uma cor que é refratada em diferentes graus (Kitsinelis, 2011:8). O exemplo mais vulgar deste acontecimento é o arco-íris, que ocorre quando a luz do sol se espalha, e é refletida por gotículas de água da chuva.

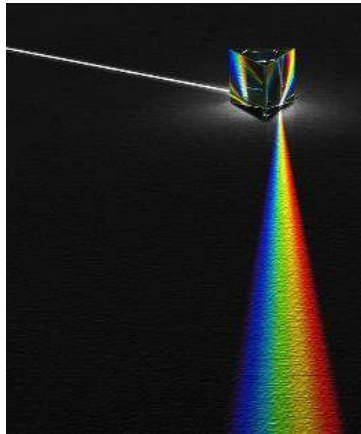


Fig. 7 - Dispersão da cor branca através de um prisma. Fonte:

[https://www.google.com/search?q=prisma+cores&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjMj5mFzKXtAhVPA2MBHQz6CSwQ\\_AUoAXoECAQQA&biw=1536&bih=698&dpr=1.25#imgcr=aCx9Z63GsZ4IEM&imgdii=m10NW WqhBZT4MM\)](https://www.google.com/search?q=prisma+cores&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjMj5mFzKXtAhVPA2MBHQz6CSwQ_AUoAXoECAQQA&biw=1536&bih=698&dpr=1.25#imgcr=aCx9Z63GsZ4IEM&imgdii=m10NW WqhBZT4MM)

#### 1.4. Importância da luz natural e os seus efeitos

A radiação solar pode afetar o corpo humano de forma benéfica ou prejudicial. A luz natural influencia a saúde física e psicológica. É um estímulo para o sistema visual e para o sistema circadiano humano. O ciclo circadiano é um ciclo de 24 horas, de sincronização do ritmo dia-noite e é utilizado para regular a produtividade das atividades das pessoas e informar o corpo de quais as funções a exercer durante cada período, controlando o relógio biológico e as mudanças psicológicas – efeitos da luz sobre o sono, fome, temperatura corporal, estado de alerta e humor. (Tregenza e Wilson, 2011:6)

A luz natural oferece imensos benefícios para a saúde de todos os seres vivos. Através da fotossíntese produz-se o oxigénio essencial à vida, e ativa a vitamina D, que é um nutriente essencial para fortalecer o nosso corpo e pode ajudar a prevenir várias doenças.

Do ponto de vista energético, o uso da luz natural como principal fonte de luz nos edifícios é vantajoso para criar o máximo conforto térmico e lumínico, reduzir as necessidades energéticas – luz artificial, maximizar o desempenho visual num determinado ambiente, onde os seus utilizadores podem realizar as tarefas visuais da melhor maneira possível com o menor esforço, sem prejudicar a visão, e criar um conforto visual através de um ambiente mais agradável e produtivo. A luz do sol fornece uma excelente reprodução de cores em grandes quantidades que são difíceis de reproduzir através de luz artificial.

A luz artificial usada para substituir ou complementar essa falta de luz natural nos edifícios, para além de causar efeitos nocivos à saúde e bem-estar das pessoas, causa consumos energéticos excessivos.

A luz natural é imprescindível para a nossa saúde, mas a exposição aos raios solares deve ser controlada, pois quando a radiação é excessiva pode causar danos na pele que podem ser visíveis, tais como as queimaduras, ou consequências a longo prazo, como as rugas e manchas na pele, que podem resultar em cancro da pele. Por outro lado no edifício pode causar sobreaquecimento e desconforto térmico que para ser controlado, utilizam-se métodos de arrefecimento que implicam gastos energéticos desnecessários.

A iluminação inadequada pode criar vários problemas, quer aos ocupantes, quer ao edifício, como a fadiga visual devido às más condições de iluminação durante a execução de tarefas, o que origina desconforto, dor de cabeça, reduz a eficiência do trabalho e a produtividade. O excesso de brilho que pode causar ofuscamento, dificuldades de concentração e até

acidentes. Este fator pode ainda gerar a síndrome do edifício doente, que segundo Vianna e Gonçalves (2001), é caracterizado pelos efeitos causados por um ambiente interno de um edifício ou sala nos seus ocupantes. Os seus efeitos podem ser problemas respiratórios, asma, alergias, irritação dos olhos e pele, sonolência, náuseas, fadiga, ansiedade e depressão. Estes sintomas normalmente desaparecem quando os ocupantes saem do edifício ou sala. Acontecem devido à permanência em espaços com baixos níveis de luz natural, exposição a ruídos e cheiros fortes, ventilação e renovação do ar inadequadas, envelhecimento dos equipamentos, acumulação de poeiras, humidade e falta de manutenção.

O uso da luz natural em espaços interiores tem um impacto considerável na saúde e bem-estar dos seus utilizadores e na eficiência energética, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população e reduzindo os impactos ambientais. Neste sentido ao projetar uma edificação deverá haver uma preocupação por parte dos projetistas na integração das estratégias e medidas mais adequadas de aproveitamento da luz natural.

### 1.5. Luz na arquitetura

A luz natural é um dos principais elementos da arquitetura, definindo os materiais, as cores e a volumetria através de jogos de luz-sombra, com o objetivo de satisfazer as necessidades humanas, funcionais e ambientais do espaço. A quantidade de luz que entra no interior dos edifícios pode ser influenciada pela distância e altura dos edifícios, pela vegetação envolvente, e pelo sombreamento causado pela morfologia do terreno. Deste modo, sempre que possível, o arquiteto deve encontrar a orientação, a implantação e a forma arquitetónica mais adequadas, tendo em conta os seguintes objetivos:

- Diminuir as necessidades de luz artificial durante o período diurno;
- Otimizar os ganhos solares, de modo a reduzir as necessidades de arrefecimento na estação de Verão e de aquecimento na estação de Inverno;
- Da implementação desta estratégia resulta a redução das necessidades energéticas dos edifícios, e o incremento da sua eficiência energética.

A forma, a dimensão, a quantidade, a inclinação e o tipo de vidro dos vãos devem adequar-se à quantidade de luz que se pretende obter para cada tipo de tarefa/função do edifício. Cada programa arquitetónico tem as suas próprias necessidades de orientação. A quantidade de luz natural necessária para habitar não será a mesma para executar qualquer tipo de tarefa mais minuciosa.

Após a entrada da luz, esta se distribuirá de acordo com as características do espaço, como as suas dimensões, cor e textura das superfícies e objetos existentes. As superfícies interiores envolventes brilhantes podem aumentar o fator luz-dia de uma sala em cerca de 10 – 20% (Corrodi e Spechtenhauser, 2008:145).

#### 1.5.1. Sistemas de admissão e controlo da luz natural

Existem vários sistemas arquitetónicos que facilitam o controlo da entrada da luz natural dentro de um espaço, cuja função é de admissão de luz natural, quer seja por incidência direta ou indireta, ventilação, proteção das condições exteriores e atmosféricas. Estes incluem as aberturas laterais, zenitais – claraboias verticais, horizontais ou inclinadas e de acordo com Philipps (2004:33-34), existe ainda outros sistemas inovadores de iluminação natural que incluem a interação da luz com as superfícies espelhadas, refração da luz por meio de vidros

prismáticos, reflexão de luz horizontal mais profunda por meio de palas de luz e reflexão de luz vertical usando tubos de luz.

### 1.5.2. Iluminação lateral

O comportamento da distribuição da luz natural dentro de um espaço é uma das principais características da iluminação lateral, como se pode verificar na figura 8. Perto do vão a o fator luz-dia é de valor elevado, e vai diminuindo para níveis muito baixos à medida que se afasta do vão, dificultando cada vez mais a execução das tarefas visuais. (Vianna e Gonçalves, 2001:134)

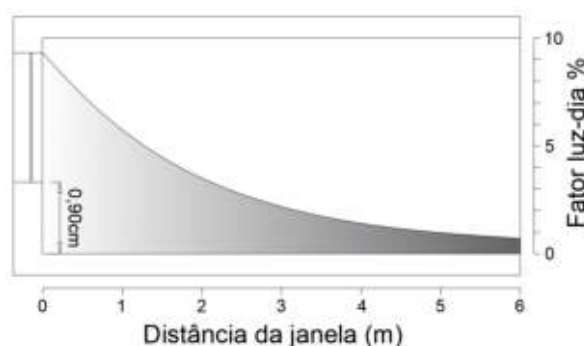


Fig. 8 - Distribuição da luz natural dentro de um espaço. Adaptado de Corrodi e Spechtenhauser, (2008:138).

Um vão que ocupe cerca de 40-50% da área da parede vai fornecer uma boa iluminação natural, já um vão que ocupe 65% ou mais da área da parede vai originar problemas de isolamento térmico no verão. As que ocupam 15% ou menos da área da parede não são apreciadas. (Corrodi e Spechtenhauser, 2008:138).

Os vãos de pequenas dimensões também podem captar grande quantidade de luz natural com a ajuda de refletores.

No entanto, há que considerar que, independentemente da dimensão dos vãos, o índice de transmissividade da luz visível é uma condição das características do pano envidraçado.

### 1.5.3. Transmissão de luz visível e condutividade térmica nos vidros

As propriedades dos tipos de vidros disponíveis na construção podem atender a uma ampla gama de requisitos, como proteção solar, isolamento térmico, redução de ruído, pressão do vento, prevenção de incêndio, segurança, resistência à explosão e autolimpeza.

Variam com o nível de transparência. Podem ser transparentes, translúcidos que transmitem a luz com vários graus de difusões e opacos que impedem a passagem da luz. O acabamento da superfície pode ser liso, polido, impresso, fosco, espelhado, gravado, esmaltado e termo refletor. Pode ainda ser vidro simples, duplo ou triplo. O vidro duplo e triplo permite melhorar o desempenho térmico e acústico do vidro, na medida em que reduz as perdas térmicas por condução, no entanto quanto maior for a massa de vidro, menor será a transmissibilidade da luz natural.

#### 1.5.4. Forma e posição dos vãos

Na escolha do formato dos vãos, quer horizontal, quer vertical devem ser estudadas para cada caso. Mesmo que as áreas sejam as mesmas, a distribuição da iluminância será diferente, como demonstra a seguinte figura 9.

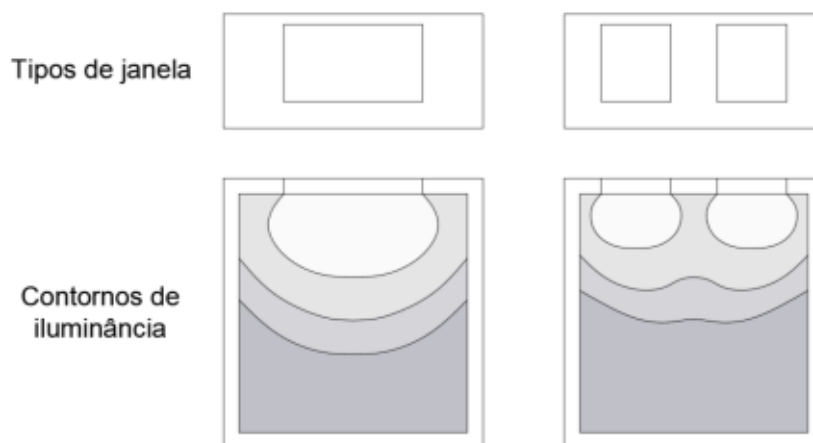


Fig. 9 - Distribuição da luz para cada tipo de vão, com a área de vidro igual. Adaptado de Bell e Burt, (1995:56)

A colocação de vão em mais de uma parede no mesmo espaço pode melhorar a distribuição da luz significativamente, reduzindo o ofuscamento.

Segundo Corrodi e Spechtenhauser (2008:139), na figura 10 a ilustração mostra o mesmo tipo de vão instalado em três alturas diferentes. As diferenças na curva dos fatores da luz do dia deixam claro que a melhor distribuição da luz resulta do vão mais alto da parede.

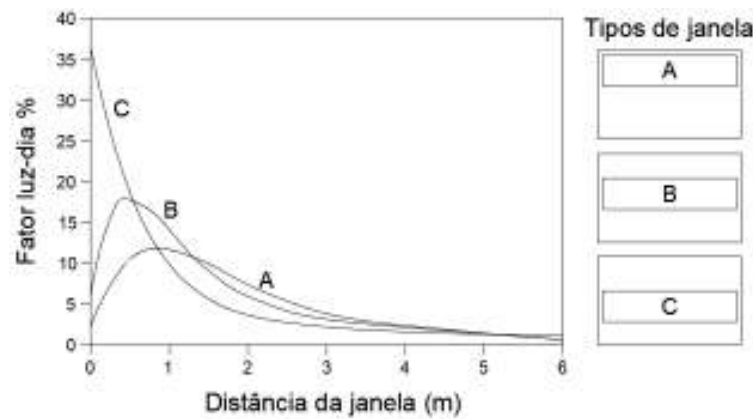


Fig. 10 - Influência da posição dos vãos. Adaptado de Corrodi e Spechtenhauser, (2008:139).

Os vãos horizontais maximizam a iluminância e garantem a homogeneidade na distribuição de luz e brilho por todo o espaço. No entanto, quando o local apresenta uma visão interessante para o exterior, os utilizadores optam por formatos de vão que oferecem um maior usufruto dessa paisagem. Quando a área de vidro é muito elevada, este tipo de fenestrações proporcionam níveis muito altos de iluminação natural, reduzindo o consumo de luz artificial, mas por outro lado, causa maior transmissão de carga térmica, ofuscamento e desconforto térmico, provocando o uso de ar condicionado e o aumento do consumo energético.

A luz natural difusa é a mais recomendada por ser homogênea, distribuindo-se melhor, não causa problemas de ofuscamento e transmissão de calor. Uma janela standard deve estar a 0,90 centímetros do chão, para uma boa visualização do exterior, recomenda-se uma altura de 2,20 metros do chão, para que a altura mínima seja de 1,30 metros, e deve ter pelo menos 1,00 metro de largura. Para obter maior profundidade de penetração da luz dentro de um espaço deve-se aumentar a altura da janela pois a eficiência da profundidade da luz é de 1,50 a 2 vezes a distância entre o piso e o limite superior da janela, como se pode verificar na figura 11, onde o ângulo de incidência da luz é  $30^\circ$  para uma sala iluminada lateralmente. (Corrodi e Spechtenhauser, 2008:132)

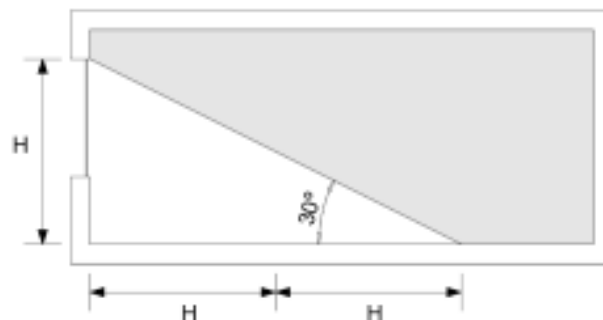


Fig. 11 - Profundidade da luz lateral dentro de um espaço. Adaptado de Corrodi e Spechtenhauser, (2008:133).

### 1.5.5. Sistemas de controlo e sombreamento

No verão é necessário proteger os vãos do excesso de iluminação natural principalmente a sul, através dos sistemas de controlo e sombreamento da luz. Estes podem ser estáticos ou dinâmicos, como as palas horizontais e verticais, cortinas, persianas, lâminas exteriores, elementos ajustáveis de fachada. Os sistemas móveis são mais eficazes do que os sistemas fixos, pois oferecem proteção solar ajustados às variações das condições climáticas.

#### Palas refletoras

As palas refletoras de luz têm como objetivo proteger a luz direta indesejada e redirecionar os raios solares para o teto, reduzindo os problemas de sobreaquecimento e ofuscamento. Pode ser posicionada no exterior e/ou no interior do edifício, verticais ou horizontais, como se pode ver na figura 12, e a parte superior deve ter um acabamento de elevada refletância, como espelhos, alumínio ou materiais polidos. As palas refletoras de luz têm a capacidade de serem dinâmicas para uma melhor adaptação às necessidades do espaço, tarefa e orientação solar, podendo ser curvas ou planas. Necessitam de limpeza regular para serem eficazes. (Tregenza e Wilson, 2011:173)

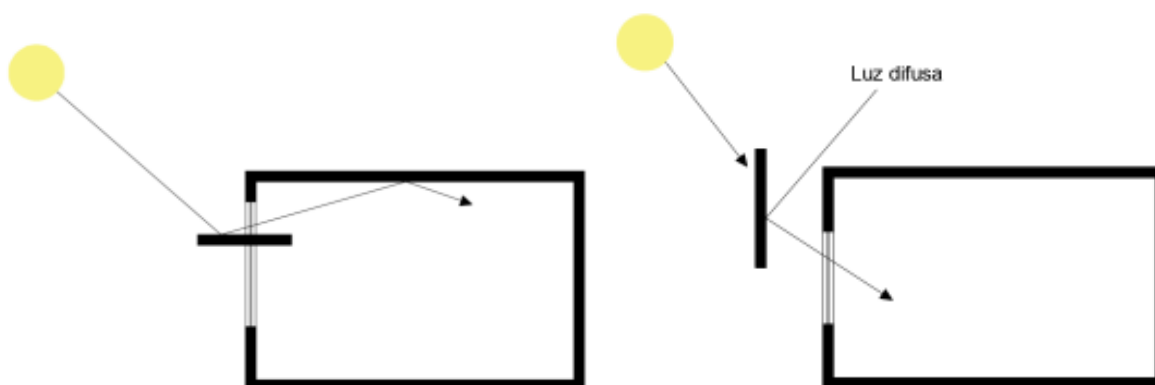


Fig. 12 - Pala horizontal e vertical. Desenho elaborado pela autora.

As palas horizontais são ainda usadas nas claraboias para melhorar a proteção e distribuição da radiação direta. No que diz respeito aos sistemas de sombreamento verticais, estes bloqueiam a luz natural direta e refletem a luz difusa do céu para o interior do edifício. Por fim, as palas rotacionais para o interior melhoram a penetração da luz, mas reduzem o efeito de sombreamento, enquanto que para o exterior protegem as áreas envolventes da abertura e reduzem a quantidade de luz refletida para o teto (ver figura 13).



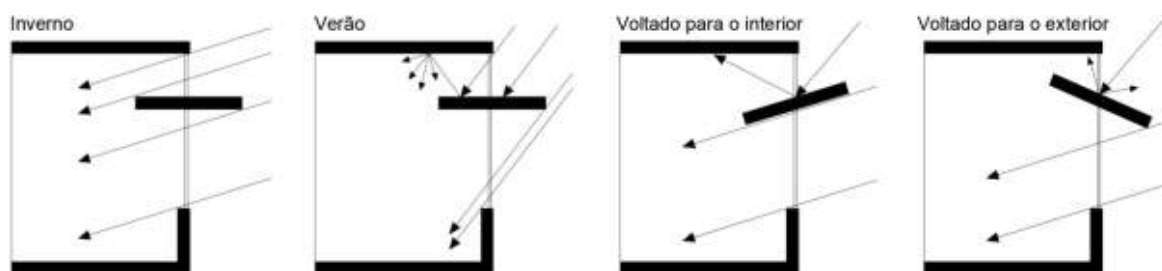


Fig. 13 - Tipologias de palas de luz. Desenho elaborado pela autora.

Por sua vez, a distância da projeção da luz nas palas planas é cerca de 6 metros de profundidade, contudo com o uso de palas curvas a sua projeção de iluminação natural aumentará, verificando-se na figura 14, na fachada Sul, os raios refletidos podem atingir até cerca de 14 metros de profundidade com o auxílio de superfícies polidas e espelhos. (Brown e DeKay, 2004:279).



Fig. 14 - Esquema de pala plana e pala curva respetivamente. Desenho elaborado pela autora.

## Persianas

Como se verifica na figura 15, as persianas são sistemas de controlo da condução da luz, refletem os raios solares para o interior dos edifícios, podendo redirecioná-los para cima, e/ou bloqueando-os conforme a necessidade. Podem ainda ser inseridos no exterior ou no interior das aberturas.

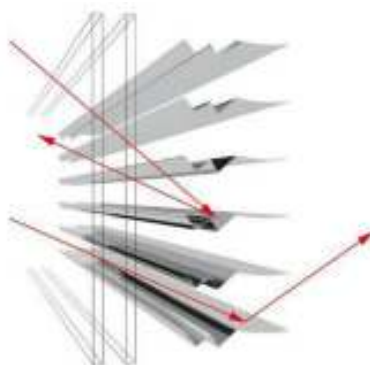


Fig. 15 - Sistemas de controlo da luz natural – Persianas. Fonte: [www.detail.de/artikel\\_koester-lichtplanung-sunprotectionlouvres\\_23759\\_En.htm](http://www.detail.de/artikel_koester-lichtplanung-sunprotectionlouvres_23759_En.htm)

## Lâminas exteriores

Assim como as palas refletoras de luz, as lâminas exteriores são sistemas de sombreamento eficazes, que podem ser fixos ou orientáveis, respondendo melhor às variações das condições da luz natural, promovendo a diminuição da luz no interior e reduzindo a carga térmica, o que poderá influenciar a composição arquitetônica exterior do edifício (Ver figura 16).

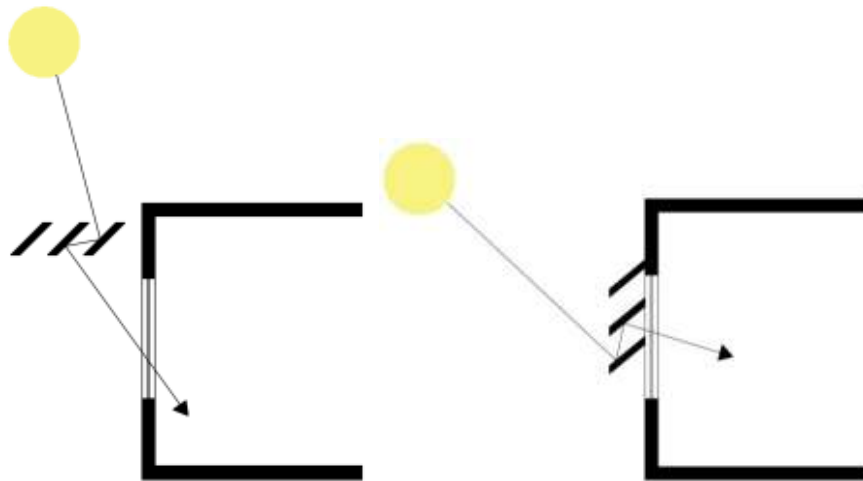


Fig. 16 - Controle da radiação solar através de lâminas. Desenho elaborado pela autora.

## Vegetação

A vegetação também se apresenta como um sistema de controle, ao implantar árvores ou vegetação esta funciona como um modo de proteção sobre as radiações diretas e ajuda a suavizar a penetração da luz. Na figura 17 verifica-se que no verão a vegetação protege o excesso dos raios solares, possibilitando um maior controle da iluminação através do sombreamento, pelo contrário, no inverno as folhas das árvores caducas caem, permitindo a penetração da luz dentro do edifício.

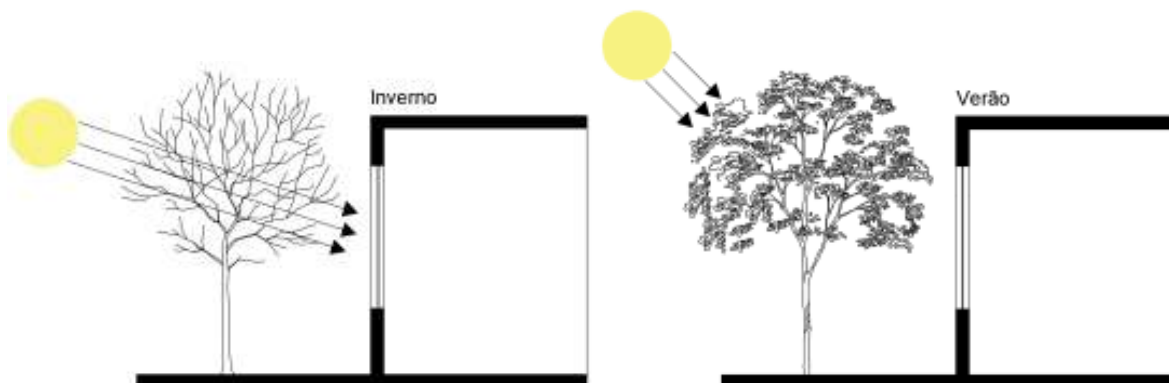


Fig. 17 - Controle da radiação solar através da vegetação. Desenho elaborado pela autora.

### 1.5.6. Iluminação zenital

Uma vez que recebe radiação solar direta do céu, a iluminação zenital proporciona uma melhor distribuição uniforme da luz natural, obtendo maiores níveis de iluminância e uma carga térmica duas vezes maior em relação às aberturas laterais. Esta pode ser aplicada em grandes espaços como museus, bibliotecas, centros comerciais, escritórios, etc. Por outro lado, visto que se abre diretamente para o céu, este tipo de iluminação não proporciona grande visibilidade para o exterior, consequentemente pode criar ofuscamento e reflexos inconvenientes (Tregenza e Wilson, 2011:52), que podem ser reparados implementando telas ou refletores para espalhar a luz direta e, ou utilizando um tipo de vidro que não deixe passar a luz totalmente – vidro fosco, translúcido.

Como demonstrado na figura 18 existem vários tipos de aberturas zenitais:

As claraboias podem ser verticais, horizontais ou inclinadas e, ainda serem abertas para permitirem a ventilação de um espaço.

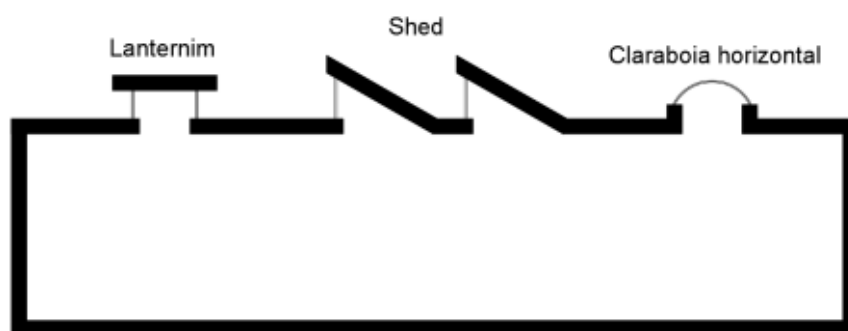


Fig. 18 - Tipos de aberturas para iluminação zenital. Desenho elaborado pela autora.

As claraboias horizontais proporcionam uma iluminação uniforme em grandes áreas do interior, uma vez que formam um ângulo de incidência quase perpendicular, onde normalmente gera reflexos especulares importunos que são facilmente reparados com a ajuda de um sistema refletor, por exemplo, os espelhos que redirecionam a luz direta de um modo mais abrangente e longínquo dentro de um espaço (ver figura 19). Nesse sentido, as claraboias verticais podem funcionar melhor do que as horizontais, como os lanternins e os sheds.



Fig. 19 - Centro desportivo Llobregat, Álvaro Siza Vieira. Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/787506/classicos-da-arquitetura-centroesportivo-llobregat-alvaro-siza-vieira/526181a9e8e44e88a00000d3-classicos-da-arquitetura-centro-esportivo-llobregat-alvaro-siza-vieira-foto>

## Lanternins

Segundo Baker et al. (1993) o lanternim é a parte elevada da cobertura com aberturas verticais geralmente aberto a mais de uma direção, que permitem a entrada de luz, sendo normalmente construído com o mesmo material da cobertura (ver figura 20). Uma vantagem deste tipo de abertura é que grande parte da luz recebida é refletida para o teto, recebendo assim luz difusa.



Fig. 20 - Claraboias verticais e lanternins. Desenho elaborado pela autora.

## Shed

É um elemento elevado com o formato de dentes de serra sobre a cobertura, que permite a entrada zenital de luz natural através de uma série de vãos paralelos verticais ou inclinados entre si (ver figura 21). Baker et al. (1993) e Vianna e Gonçalves (2001:129) afirmam que este tipo de abertura é mais utilizado em fábricas e indústrias com pés direitos altos, normalmente orientadas a norte para receber luz difusa na maior parte do dia.

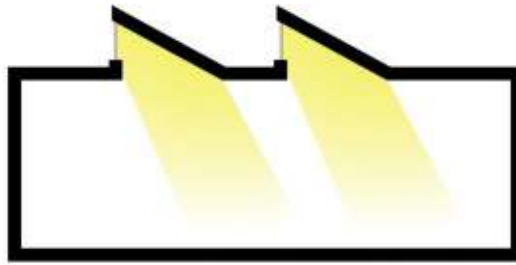


Fig. 21 - Aberturas shed. Desenho elaborado pela autora.

## Átrio

É um espaço interno que permite a entrada da luz natural para outros espaços interiores de ligação com o átrio, normalmente abrange toda a altura do edifício, tal como demonstrado na figura 22. Permite a passagem de luz natural através de materiais transparentes ou translúcidos nas coberturas. A quantidade de luz natural disponível vai depender das dimensões, orientação e transparência desse material; da reflexão dos acabamentos interiores; da geometria do edifício, largura, comprimento e profundidade. Por sua vez, estes elementos irão depender da quantidade de andares que vão ser iluminados. (Baker, et al 1993:5.10)

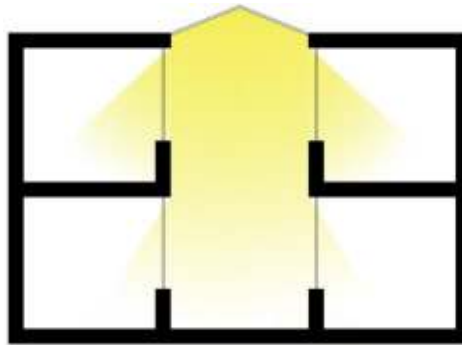


Fig. 22 - Distribuição da luz natural através de uma abertura central. Desenho elaborado pela autora.

Segundo Baker et al. (1993:5.11), de modo a evitar problemas de sobreaquecimento, podem ser adicionados elementos de controlo ajustáveis, proporcionando componentes decorativos e atrativos como forma de impedir/proteger do excesso de luz.

A luz nos átrios conseguem atingir espaços mais profundos de vários andares, quando em espaços de grande extensão, por exemplo centros comerciais, o átrio cria sentido de orientação visual, potencia ainda a poupanças de energia e reduzem as perdas de calor. Por

outro lado, os átrios ocupam imenso espaço útil em cada piso, não satisfazem as necessidades de vista e podem sobreaquecer o espaço. Para assegurar uma boa iluminação interior é necessário uma manutenção regular da superfície envidraçada.



Fig. 23 - Faculdade de Ciências da Educação da Universidade de Lleida, Álvaro Siza Vieira. Fonte: [https://www.grupo-sanjose.com/pt/p\\_FACULDADE-DE-CI%C3%84NCIAS-DAEDUCA%C3%87%C3%83O-DA-UNIVERSIDADE-DE-LLEIDA\\_105](https://www.grupo-sanjose.com/pt/p_FACULDADE-DE-CI%C3%84NCIAS-DAEDUCA%C3%87%C3%83O-DA-UNIVERSIDADE-DE-LLEIDA_105)

### Tubos de luz

São tubos que captam a luz do dia e distribuem para espaços interiores dos edifícios que não estejam diretamente ligados ao exterior, ou seja, onde não é possível abrir vãos. São implementados nas coberturas geralmente constituídos por uma cúpula transparente na parte superior para captar a luz natural, que posteriormente é direcionada para o interior através do seu revestimento interior de elevada refletância, como se pode verificar na figura 24, onde a luz se espalha de forma homogênea, natural e eficaz. (Alves, 2008:38-39)

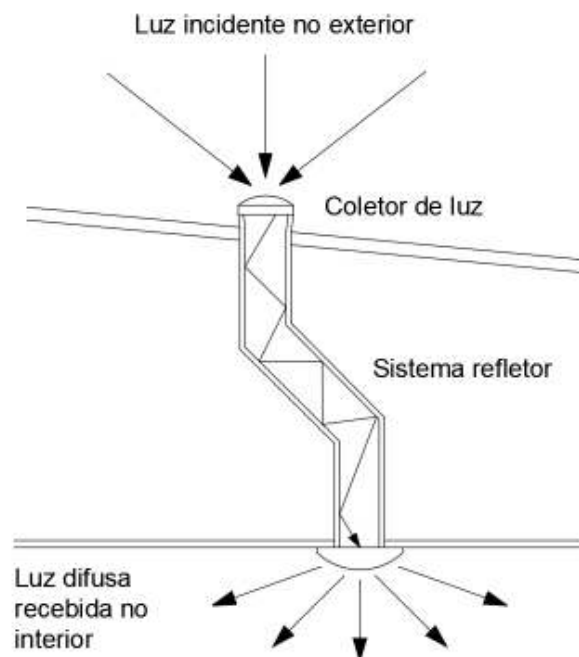


Fig. 24 - Tubo refletor de luz. Adaptado de Skowranek, (2017:24).

É um sistema de fácil instalação pois permite instalá-lo entre vigas sem danificar a estrutura, são adaptáveis a qualquer obstáculo do seu trajeto devido à sua versatilidade em formar ângulos, que podem ir até 15 metros de profundidade. São aplicáveis em espaços de grande e pequena dimensão, e apenas tem de ser limpos periodicamente. Há ainda possibilidade de instalar o tubo de luz através de vários pisos, mas com a desvantagem de ocupar o espaço útil dos pisos superiores. (Alves, 2008:38-39)

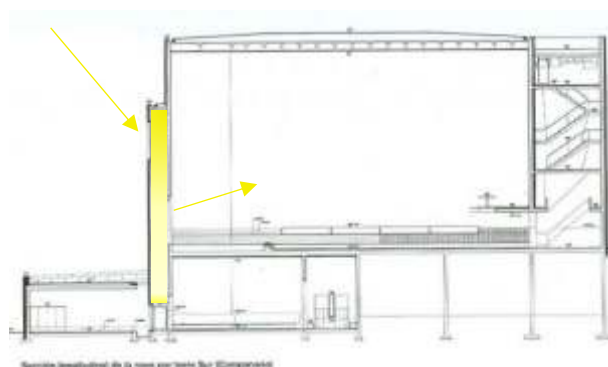


Fig. 25 - Igreja Santa Maria em Marco de Canaveses de Álvaro Siza Vieira. Fonte: <https://www.igrejasantamaria.pt/> e <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/iglesia-en-marco-de-canavezes/#corte-iglesia-enmarco-de-canavezes>

## Sistema de fibras óticas

Assim como o tubo de luz, a fibra ótica também é utilizada para levar a luz natural a espaços que de outra maneira não seriam iluminados. É um sistema inovador de iluminação sustentável que recorre ao uso da fibra ótica, criando uma solução eficaz para a poupança energética do edifício. Os recetores são colocados estrategicamente no telhado que irá capturar e direccionar a luz natural por dentro da estrutura do edifício, através de cabos finos e flexíveis de fibra ótica para o seu interior, mas apenas proporciona uma distância de cabos de 30 a 50 metros (ver figura 26). É mais utilizada sobretudo em edifícios de grande dimensão onde a captação de luz é complexa. (Alves, 2008:40-41)

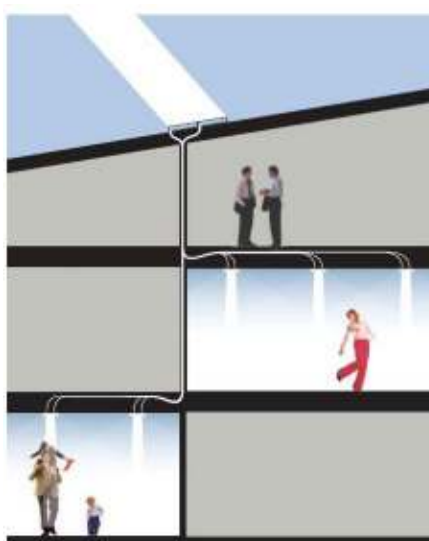


Fig. 26 - Sistemas de fibras óticas com difusores. Fonte: <https://blog.domoticadavinci.com/>

## Painéis prismáticos

Os painéis prismáticos são dispositivos de controlo da luz natural, que têm como objetivo interromper a luz solar direta e espalhá-la de forma difusa, podem ser produzidos em vidro, acrílico ou policarbonato, e ser fixos ou móveis. São constituídos por um material transparente, com um lado liso e outro com pequenos prismas que controlam a reflexão, refração, e a direção dos raios solares. Contudo, gera a desvantagem de não permitir a visão clara para o exterior, oferecendo uma visão transparente mas distorcida, por isso normalmente são utilizados na parte superior dos vãos, redireccionando a luz para o teto, obtendo assim maior profundidade. O seu funcionamento vai depender do ângulo de incidência dos raios solares, que para melhor desempenho recomenda-se o seu ajuste de



modo a controlar a intensidade e a direção da luz natural. De acordo com IEA (2000:4-39) os painéis prismáticos requerem uma manutenção mais cuidadosa, de modo a não danificar as suas superfícies óticas, exceto se estas películas estiverem aplicadas nas faces não expostas do vidro (ver figura 27).

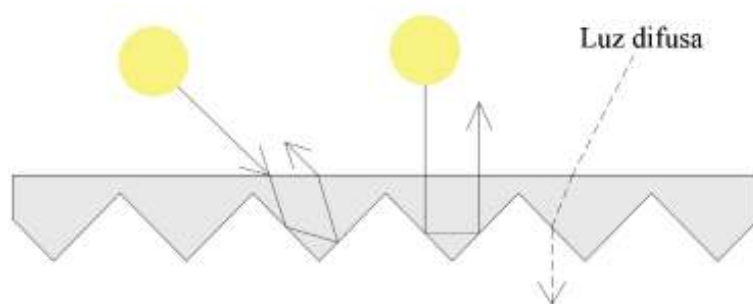


Fig. 27 - Esquema de captação da luz direta e indireta pelos painéis prismáticos. Adaptado de IEA, (2000:4-41)

## 1.6. Conforto visual

O conforto visual é definido como um conjunto de condições que garantem o desempenho das tarefas visuais com o máximo de rigor e com o mínimo de esforço, evitando erros ou acidentes. (International Energy Agency IEA, 2000:3-4)

A luz natural assume uma determinada importância quando se trata da execução de tarefas nomeadamente no local de trabalho. Para garantir o conforto visual aos utilizadores é necessário identificar as necessidades de cada tarefa e perceber o que ela implica no desempenho do trabalhador, quer a nível físico, quer ao nível biológico do ser humano. Para isso é necessário perceber qual é o tipo de atividade, quem a vai realizar (idade, sexo), o horário de funcionamento, a orientação do local, as medidas das aberturas, o tipo de vidro, a quantidade e qualidade de luz necessária ou existente, e a textura e cor dos materiais envolventes.

Quanto mais exigente for a tarefa mais elevados deverão ser os níveis de iluminância, o que consequentemente resultará num melhor desempenho visual da pessoa. No entanto, o excesso de iluminação também não é aconselhável, pois o desempenho visual só será eficaz se a luz emitida não obstruir a visão. A desadequada iluminação pode causar desconforto visual, dores de cabeça, fadiga, erros e até acidentes.

O desempenho visual é a capacidade de perceber os objetos e detalhes com determinado contraste (Ganslandt & Hofman, 1992:74), afetando a velocidade e precisão do trabalho, dependendo sobretudo da capacidade de visibilidade das tarefas visuais. É preciso avaliar cada situação com especial atenção na medida em que os valores de luminosidade necessários para a habitação geralmente não correspondem aos valores de luminosidade necessários para escritórios, escolas, museus, indústrias ou hospitais. No mesmo espaço de trabalho poderá existir quantidades de informações visuais distintas, na identificação de detalhes, tamanhos, formas e acabamentos de objetos, trabalhos manuais e perceção de cores. A perceção da luz depende de pessoa para pessoa, quando o espaço é partilhado por muitas pessoas surge a dificuldade em atribuir valores para determinado ambiente de trabalho. Deste modo para obter um melhor conforto visual foi desenvolvida a normativa pelo Comité Européen de Normalisation (CEN) (2019) que definem as iluminâncias recomendadas para cada tipo de atividade em específico, para que estas possam ser efetuadas corretamente sem causar cansaço visual (ver tabela 1 e 2).

**Tabela 1 - Iluminâncias recomendadas cada tipo de atividade, pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE)**

Domínios	Iluminâncias recomendadas (lux)	Tipos de atividade
Iluminação geral para áreas de pouca utilização ou de tarefas visuais simples.	20 - 50	Áreas públicas com zonas circundantes escuras.
	50 - 100	Orientação simples para permanência de curta duração.
	100 - 200	Compartimentos usados em atividades não continuas (áreas de armazenagem, vestíbulos, átrios, circulação etc.)
Iluminação geral para áreas com exigências do ponto de vista das tarefas visuais.	300 - 500	Tarefas com exigências visuais limitadas (trabalho com máquinas de pouca precisão, auditórios, etc.)
	500 - 1000	Tarefas com exigências visuais normais (Sala de aula, escritórios, trabalho com máquinas de precisão média, etc.)
	1000 - 2000	Tarefas com exigências visuais especiais (Salas de desenho, inspeção de máquinas, etc.)
Iluminação adicional para o desempenho de tarefas visuais que exijam grande	3000 - 5000	Tarefas que exijam um desempenho visual exato e prolongado (indústria eletrônica, outras atividades de precisão, etc.)
	5000 - 7500	Tarefas que exijam um desempenho visual muito exato (micro eletrônica, etc.)
	10 000 - 20 000	Tarefas visuais muito especiais (cirurgias, etc.)

Para iluminação de áreas pouco utilizadas ou de reduzida necessidade de iluminação são recomendados valores de iluminância entre 20 a 200 lux. Para áreas com elevada necessidade de iluminação são recomendadas entre os 300 a 2000 lux. Para áreas de extrema necessidade de iluminação para tarefas de desempenho rigoroso é recomendado entre 3000 a 20 000 lux.

**Tabela 2 - Iluminâncias recomendadas no plano de trabalho em edifícios residenciais pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE).**

Edifícios residenciais	Iluminância (lux)
Zonas de passagem	50 - 100
Salas de estar	100
Cozinhas	200
Zonas de estudo	300 - 500

O objetivo destas recomendações será sempre o bem-estar do utilizador, assim como:

- Facilitar o trabalho;
- Aumentar o desempenho nas tarefas;
- Contribuir para a segurança e saúde do utilizador;

- Criar um ambiente de trabalho confortável;
- Fornecer uma iluminação suficiente e uma boa distribuição;
- Proporcionar contrastes, cores e sombras adequados;
- Não causar ofuscamento;
- Reduzir os custos energéticos do edifício.

Para obter um ambiente luminoso confortável é necessário uma distribuição uniforme da luz para que as sombras não causem problemas no desenvolvimento das tarefas; depende da luminância das superfícies no campo da visão para que não causem brilhos indesejados; por fim ainda é relevante a qualidade da luz nesse ambiente como a reprodução da sua composição espectral. (IEA, 2000)

É sobre um ou mais planos de trabalho (geralmente em planos horizontais onde se situa a tarefa, por exemplo uma mesa de trabalho, tal como demonstra a figura 28), que vai ser calculada e avaliada a distribuição de iluminâncias no ambiente como um todo e os níveis médios, máximos e mínimos das iluminâncias. Calcula-se ainda a uniformidade luminosa sobre as superfícies através dos contrastes de iluminância e luminância descritos por índices entre valores máximos e médios, ou médios e mínimos. (IEA, 2000)



Fig. 28 - Plano de trabalho. Desenho elaborado pela autora.

Os níveis de iluminação na área envolvente não devem ser inferiores a um terço dos níveis de iluminação na área da execução da tarefa (Brown e Dekay, 2004), porém quanto mais uniforme for a distribuição da luz no campo visual melhor será a visibilidade da tarefa (IEA 2000). Recomenda-se a luz natural difusa para locais de trabalho, na medida em que a luz natural direta pode causar brilho e sombras fortes prejudiciais, assim como a textura das superfícies devem ser opacas e de cor clara para não haver brilhos, distrações e fadiga visual. Deve-se tentar ao máximo que 70% das horas de trabalho seja sobre a presença da luz do dia (Skowranek, 2017:50), sem a dependência da luz artificial, para benefício do utilizador e do edifício, melhorando a sua eficiência energética.

## **2. GRANDEZAS E UNIDADES FOTOMÉTRICAS**



## 2. Grandezas e Unidades Fotométricas

Para poder aplicar a luz de modo consciente é fundamental saber como a calcular. Este capítulo apresenta os métodos de cálculo que permitem avaliar o desempenho dos sistemas utilizados para iluminar determinados espaços, calcula a quantidade e a distribuição da luz através de fórmulas matemáticas, para posterior aplicação consoante as necessidades de cada espaço.

Para o presente estudo foram considerados os termos e definições estabelecidos na norma EN 12665: 2018 (Comité Européen de Normalisation, 2018).

O fluxo luminoso ( $\Phi$ ) descreve a quantidade total de radiação emitida por uma fonte de luz, que expressa a sua capacidade de produzir sensação visual e é medido por lúmen (lm). Ver figura 29.

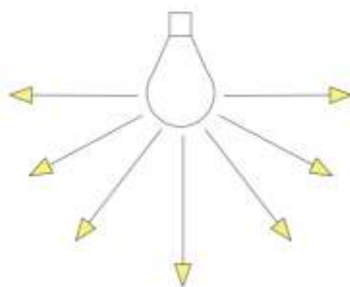


Fig. 29 - Fluxo luminoso. Desenho elaborado pela autora.

Intensidade luminosa ( $I_v$ ) é a distribuição espacial de um fluxo luminoso ( $\Phi$ ), emitido numa direção por uma fonte de luz por ângulo sólido ( $\Omega$ ), ver figura 30.

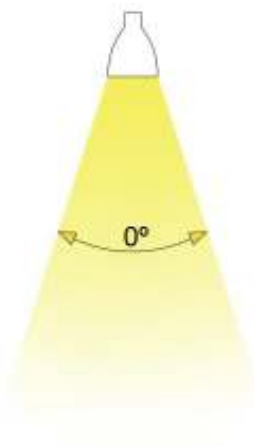


Fig. 30 - Intensidade luminosa. Desenho elaborado pela autora.

A unidade de medida é expressa em candela (cd), ou seja, lúmen (lm) por esteradiano (sr). A intensidade luminosa ( $I_v$ ) é dada pela fórmula:

$$I_v = \frac{\Phi}{\Omega}$$

A Iluminância ( $E$ ) define a densidade do fluxo luminoso  $\Phi$  de uma fonte de luz que incide sobre uma determinada área  $A$ , cuja unidade de medida é o lux (lx), onde 1 lux é igual a 1 lm/m<sup>2</sup>. Ver figura 31.

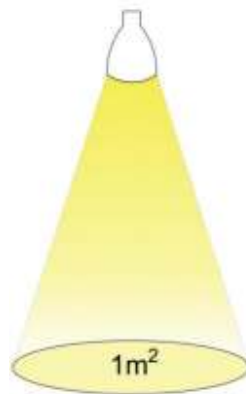


Fig. 31 – Iluminância. Desenho elaborado pela autora.

A iluminância ( $E$ ) é dada pela fórmula:

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

É a luz incidente não visível também retratada por aclaramento, que permite estimar a proporção de luz emitida que está a iluminar o objeto.

A iluminância pode ser descrita como iluminância horizontal ( $E_h$ ) para superfícies horizontais e como iluminância vertical ( $E_v$ ) para superfícies verticais. A iluminância pode ser medida em qualquer ponto dentro de um espaço, como o plano de trabalho de uma tarefa.

Iluminância média ( $\bar{E}$ ) representa a média do fluxo luminoso  $\Phi$  que cai numa determinada superfície medido numa grelha de pontos do sistema.

Iluminância mínima ( $E_{\min}$ ) representa o fluxo luminoso mínimo  $\Phi$  medido num ponto da grelha do sistema numa superfície.

Iluminância máxima ( $E_{\max}$ ) representa o fluxo luminoso máximo  $\Phi$  medido num ponto da grelha do sistema numa superfície.



Uniformidade geral ( $U_0$  ou  $g^1$ ) representa a uniformidade da iluminância sobre uma superfície como a proporção da iluminância mínima ( $E_{\min}$ ) para a iluminância média ( $\bar{E}$ ).

Luminância ( $L_v$ ) é a proporção da intensidade luminosa de uma dada superfície ( $I_v$ ) para a área projetada da superfície ( $A_p$ ) numa determinada direção, conforme a figura 32. A unidade de medida da luminância é a candela (cd)/m<sup>2</sup>. Representa o brilho dos revestimentos, as luminâncias muito altas ou mudanças repentinas que podem provocar encadeamento.

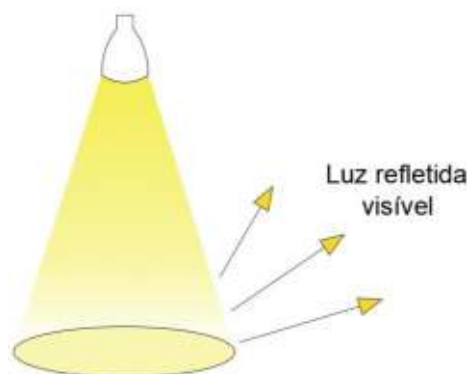


Fig. 32 – Luminância. Desenho elaborado pela autora.

A fórmula é:

$$L_v = \frac{I_v}{A_p}$$

Enquanto a iluminância determina a quantidade de fluxo luminoso que cai numa superfície, a luminância representa o brilho de uma superfície iluminada.

A partir da junção das figuras acima representadas criou-se a figura 33 para melhor percepção do comportamento da luz. Os raios luminosos de uma fonte de luz, correspondentes ao fluxo luminoso, não são visíveis. É através da claridade que essa superfície produz que é possível ver.



Fig. 33 - Comportamento da luz. Desenho elaborado pela autora.

Refletância ( $\rho$ ): indica a quantidade em percentagem (%) do fluxo luminoso  $\Phi$  que é refletido por uma superfície dada pelas propriedades de refletância dos seus materiais e acabamentos. A refletância é o equivalente ao valor da refletância da luz (LRV) e índice reflexivo ( $R_\lambda$ ), ambos medem a luz visível que é refletida de uma superfície quando iluminada por uma fonte de luz natural ou artificial. A reflexão da luz numa superfície plana de um material é expressa como a razão ou percentagem da intensidade do fluxo de luz refletido ( $I_R$ ) para a intensidade do fluxo de luz incidente ( $I_o$ ) (Cardarelli, 2018: 65), de acordo com a seguinte fórmula:

$$R_\lambda(\%) = \frac{I_R}{I_o} * 100$$

Onde:

$R_\lambda$  é o índice reflexivo expresso em percentagem;

$I_R$  é o fluxo de luz refletido expresso em lx e  $I_o$  é o fluxo de luz incidente expresso em lx.

## 2.1. Fatores de absorção e reflexão

A percentagem de refletância esta relacionado diretamente à cor e ao tipo de superfície. Considerando a refletância no espectro da radiação visível, esta varia de 0 - preto perfeito a 1 - branco perfeito (Baker et al. 2002:89). Considera-se que a refletância acima de 0,7 pode ser prejudicial, pois pode causar ofuscamento.

**Tabela 3 - Tabela de refletâncias dos materiais e cores. Adaptado de Rodrigues, (2002).**

Classificação	Superfície	Refletância
A	Alta	de 0,5 a 1,0
B	Média	de 0,3 a 0,5
C	Baixa	de 0,0 a 0,3

Superfícies	Refletância
Aço inox	0,55 - 0,65
Alumínio polido	0,60 - 0,70
Alumínio mate	0,50 - 0,75
Ardósia	0,43
Bloco concreto	0,40
Cal	0,80
Cobre brilhante	0,75
Concreto aparente	0,55
Espelhos	0,80 - 0,90
Gesso (branco)	0,90 - 0,95
Granito	0,40
Lâmina cromada	0,72
Madeira clara	0,13 - 0,34
Madeira escura	0,07 - 0,13
Marmore branco	0,45
Prata brilhante	0,93
Tijolo vermelho	0,10 - 0,20
Vidro, janelas	0,15

Cores	Refletância
Amarela	0,30 - 0,70
Azul	0,05 - 0,55
Bege	0,25 - 0,65
Branca	0,85 - 0,95
Cinzenta	0,25 - 0,60
Marfim	0,71 - 0,77
Pérola	0,72
Preto	0,04 - 0,08
Rosa	0,35 - 0,70
Verde	0,12 - 0,60
Vermelha	0,10 - 0,35

Segundo Corrodi e Spechtenhauser (2008:135-136) as superfícies de cores claras têm maior refletância do que as superfícies escuras. As superfícies brancas refletem até cerca de 70% a 80% da luz visível, ao contrário da cor preta que reflete apenas entre 0% a 4% de luz visível, estas devem ser evitadas pois reduzem a penetração da luz natural.

Entretanto esses valores podem variar dependendo das superfícies dos materiais, como se verifica na tabela 3. Por isso é importante fazer um estudo das refletâncias das cores para cada tipo de superfície.

Fator luz-dia (DF) determina a percentagem da iluminância da luz natural num determinado ponto do plano de referência ( $E_i$ ) no seu interior, geralmente no plano de trabalho ou ao nível do pavimento, em relação à iluminância exterior ( $E_o$ ) de um céu nublado. O fator luz-dia (DF) é calculado geralmente em percentagem, na seguinte fórmula:

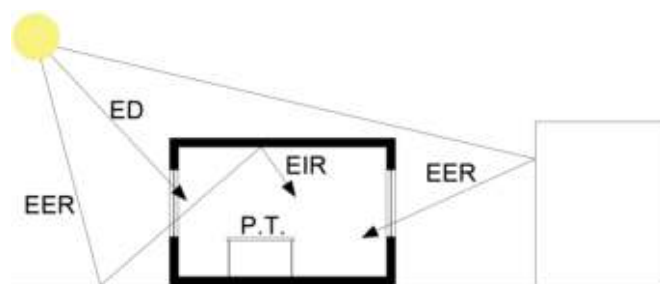
$$DF (\%) = \frac{E_i}{E_o} * 100$$

É composto por 3 componentes: (ver figura 34)

- A iluminância direta do céu se visível do ponto interno considerado ( $E_D$ );
- A iluminância devido aos reflexos no ambiente externo ( $E_{ER}$ ), é a percentagem de luz do dia que é refletida no interior pelas superfícies externas. Entra no interior com um ângulo muito baixo, quase horizontal, o que permite que chegue a áreas mais longas do que a luz direta.
- A iluminância devido aos reflexos nas superfícies internas ( $E_{IR}$ ). É o resultado da reflexão dos dois primeiros componentes com as superfícies internas. A luz que atinge abaixo da superfície de trabalho horizontal é refletida novamente pelo piso, teto e paredes internas, espalhando a luz uniformemente por toda a sala.

Assim, o fator luz-dia total num ponto de um plano interior ( $E_i$ ) é o resultado da soma de 3 componentes:

$$E_I = E_{DD} + E_{ER} + E_{IR}$$



P.T. - Plano de trabalho.

Fig. 34 - Esquema das várias componentes da luz natural. Desenho elaborado pela autora.

Para determinar o fator luz-dia é necessário conhecer, não só o ambiente exterior, mas também o interior, como a área total das paredes, teto e chão, e seus fatores de reflexão de cada superfície, as dimensões do compartimento – largura, comprimento e altura, quantidade e dimensões dos vãos, transmissão de luz visível e espessura dos vidros.

## 2.2. Transmissão de luz visível e condutividade térmica nos vidros

A transparência do vidro plano fornece uma visão clara através dele, apresentando uma transmissão de energia e transmissão de luz muito altas quando exposto à luz natural. A transmissão de luz ( $T$ ) é definida pela razão do fluxo de luz incidente (ou seja, iluminância) que atinge o interior ( $E_i$ ) para o fluxo de luz incidente exterior ( $E_o$ ), que também pode ser expresso como uma percentagem e calculado usando a seguinte fórmula:

$$T = \frac{E_i}{E_o} \text{ ou } T = \frac{E_i}{E_o} * 100$$

O coeficiente de condutividade térmica da unidade de vidro ( $U_g$ ) é definida pela fórmula:

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{e_i}{\lambda_i} \right) + R_{si}}$$

Onde:

$R_{se}$  é a resistência térmica da superfície exterior de acordo com o padrão por zona climática, que é igual a  $0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ ;

$R_{si}$  é a resistência térmica da superfície interior de acordo com o padrão por zona climática, que é igual a  $0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ ;

$e_i$  é a espessura da camada de material  $i$  e  $\lambda_i$  é a condutividade térmica da camada de material  $i$ .

Na Tabela 4, é apresentada uma comparação entre a condutividade térmica ( $U_g$ ) e a transmissão de luz (T) para vidros simples, onde mostra que a quantidade de luz visível que atinge o interior diminui com o aumento da espessura do vidro, apesar da diminuição dos valores de  $U_g$ .

**Tabela 4 - Transmissão de luz visível (T) e coeficiente de condutividade térmica ( $U_g$ ) calculados para diferentes espessuras de vidro simples.**

<b>Espessura de vidro mm</b>	<b>T*</b>	<b><math>U_g</math> W/(m<sup>2</sup>.K)**</b>
3	0.88	5,77
4	0.87	5,70
5	0.86	5,70
6	0.85	5,67
8	0.83	5,60
10	0.81	5,53
12	0.79	5,47
15	0.76	5,38
19	0.72	5,26
25	0.67	5,08

\* De acordo com Schittich et al. (2007:61).

\*\* Para cálculos de  $U_g$ , condutividade térmica ( $\lambda$ ) de vidro plano (vidro de soda-cal) foi considerada como 0,937 W/(m.K) de acordo com Cardarelli (2018:65) os coeficientes de transferência térmica superficiais considerados como sendo  $h_e = 23$  W/(m<sup>2</sup>.K) e  $h_i = 8$  W/(m<sup>2</sup>.K) de acordo com a EN 410: 2011 (Comité Européen de Normalisation, 2011).

Assim, o vidro deve ser o primeiro parâmetro a ser considerado para melhorar a eficiência energética e o conforto em edifícios existentes, substituindo os vãos antigos de vidro simples por novos com sistemas de vidros de alto desempenho (Bastian et al., 2015:25), embora as soluções possam reduzir a transmissão da luz visual. Portanto, as soluções de envidraçados que reduzem a condutividade térmica devem manter a transmissão luminosa, combinando revestimentos anti-reflexo e permitindo a passagem da luz visível.

O desempenho dos envidraçados de referência usado para comparação é estabelecido na norma EN ISO 52022-1:2017 (International Organization de Standardisation, 2017), conforme mostrado na Tabela 5.

**Tabela 5 - Propriedades térmicas e óticas para referência de vidros padrão em EN ISO 52022-1:2017.**

<b>Vidros</b>	<b><math>g</math></b>	<b><math>T</math></b>	<b><math>U_g</math> W/(m<sup>2</sup>.K)</b>
Vidros simples transparentes	0.85	0.90	5.80
Vidros duplos transparentes	0.75	0.82	2.90
Vidros duplos com revestimento de baixa emissividade	0.59	0.80	1.20
Vidros duplos com revestimento de baixa emissividade e controlo solar	0.32	0.44	1.10
Vidros triplos com revestimento de baixa emissividade	0.55	0.73	0.80

$g$  é o Fator Solar (SF ou Solar Heat Gain Coefficient (SHGC))

$T$  é a transmissão de luz

$U_g$  é o coeficiente de condutividade térmica da unidade de envidraçados.

### **3. SIMULAÇÃO DA LUZ NATURAL**





### **3. Simulação da Luz Natural**

Este capítulo apresenta quais os programas de simulação existentes e uma breve explicação do funcionamento do programa DIALux® evo, demonstrando passo a passo cada etapa do processo e quais os dados a inserir para obter os cálculos.

#### **3.1. Ferramentas de simulação da Luz Natural**

As ferramentas de simulação em arquitetura são cada vez mais utilizadas para prever o comportamento de edifícios durante a sua fase projetual. Quase todos os aspetos da construção como o comportamento térmico, ventilação, aquecimento, refrigeração e iluminação podem ser modelados e avaliados na fase de projeto, permitindo fazer correções e, assim, maximizar o desempenho dos edifícios. Essas ferramentas têm-se demonstrado relevantes para reduzir as necessidades energéticas de edifícios auxiliando arquitetos, engenheiros e designers no desenvolvimento de projetos. As soluções de iluminação computacional são eficazes para avaliar o equilíbrio entre a iluminação diurna e a artificial, contribuindo para a redução dos custos operacionais. Exemplos de ferramentas disponíveis para simulação de iluminação são Radiance®, Ecotect® (agora incluído no Autodesk Revit®), EnergyPlus® e DIALux® evo, entre outros.

#### **3.2. Programa DIALux® evo 9.1**

O DIALux® Evo é uma ferramenta de simulação da iluminação gratuita, desenvolvida pelo Instituto Alemão de Tecnologia de Iluminação Aplicada (DIAL) que permite prever cenários de iluminação artificial/natural em espaços exteriores e interiores, verificando a sua conformidade com as normas nacionais e internacionais (DIAL, 2016). No início do estudo a versão do programa mais recente era o DIALux® Evo 9 lançado em 2020, contudo atualizou-se para a nova versão do DIALux® Evo 9.1 em setembro de 2020.

Os cálculos podem ser feitos para qualquer região do mundo simplesmente adicionando coordenadas geográficas, o dia e a hora. Para a modelação da iluminação artificial, o programa possui uma base de dados de luminárias disponibilizados por diversos fabricantes que podem ser adicionados aos cálculos. Assim, com base no desempenho técnico das luminárias, o programa também avalia as demandas de energia e a eficiência das soluções de iluminação, atribuindo a etiqueta de certificação energética correspondente.

Apesar de ter sido criado essencialmente como uma ferramenta para avaliar as condições de iluminação artificial, também permite avaliar o desempenho da iluminação natural, simplesmente desativando as luminárias instaladas e ativando o modo de cálculo do fator de luz diurna para as condições de céu nublado CIE padrão.

Os parâmetros da saída dos resultados são definidos pelo utilizador de acordo com os objetivos da avaliação, incluindo a maneira como esses dados serão vistos e quais as informações incluídas. O DIALux® evo 9.1 é uma ferramenta de simulação versátil pois permite fazer várias experiências com diferentes cenários, possibilitando a sua alteração com resultados imediatos. É dividido de um modo simples e de fácil acesso a cada comando. Dependendo da data, hora, orientação do edifício e modelo do céu, o DIALux® calcula o fator de luz do dia e os valores de iluminância no interior do edifício.

O primeiro passo consiste em escolher como vai ser iniciado o projeto (ver figura 35 abaixo).

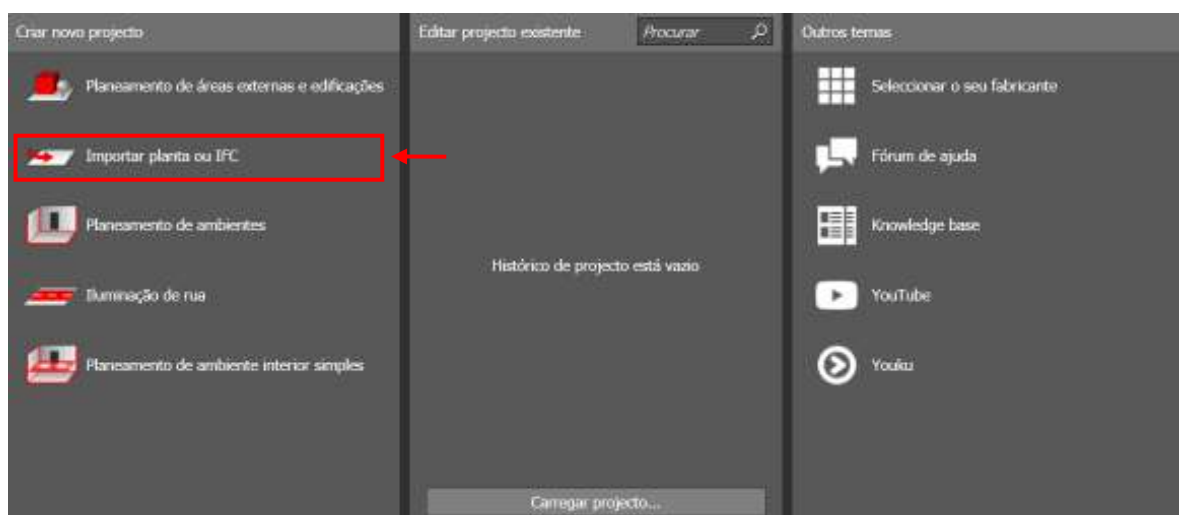


Fig. 35 - Modo de entrada no programa DIALux® evo 9.1.

Existem 5 opções no “criar novo projeto”:

- 1- Iniciar o projeto do zero num plano vazio;
- 2- Importar o projeto DWG/DWF (feito no AutoCad®);
- 3- Iniciar o projeto com o planeamento de uma sala retangular vazia;
- 4- Iniciar com um projeto de iluminação pública;
- 5- Iniciar com menos menus de ferramentas apenas com elementos essenciais e simples.

A opção escolhida foi a opção 1, iniciar o projeto do zero.

Após o primeiro passo, existem 5 menus com ferramentas que auxiliam toda a construção do projeto (ver figura 36).



Fig. 36 - Ferramentas do programa DIALux® evo 9.1.

Para cada menu existe uma serie de ícones para determinado passo na parametrização do projeto. O menu “Construção” consiste nas ferramentas que servem para realizar a estrutura do projeto, como paredes, pisos, tetos, vãos, o tipo de vidro, materiais e texturas de cada superfície... (figura 37). A textura dos materiais é um elemento fundamental para calcular a luz natural, pois a refletividade depende da textura e cor da superfície dos materiais. O DIALux® evo apresenta dois catálogos, um de cores e outro de diversos materiais, como demonstra a figura 39. Ainda no menu “Construção” é possível inserir o local, a orientação exata (latitude e longitude), o alinhamento norte e o fuso horário (ver figura 38).



Fig. 37 - Configurações gerais da ferramenta “Construção” no programa DIALux ® evo 9.1.

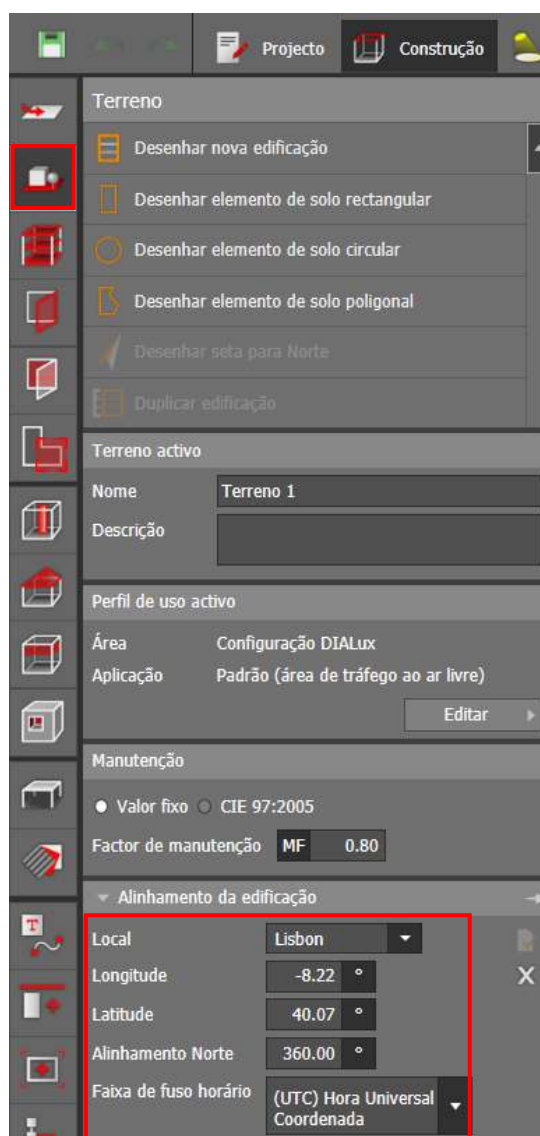


Fig. 38 - Localização e orientação do projeto no programa DIALux® evo 9.1.

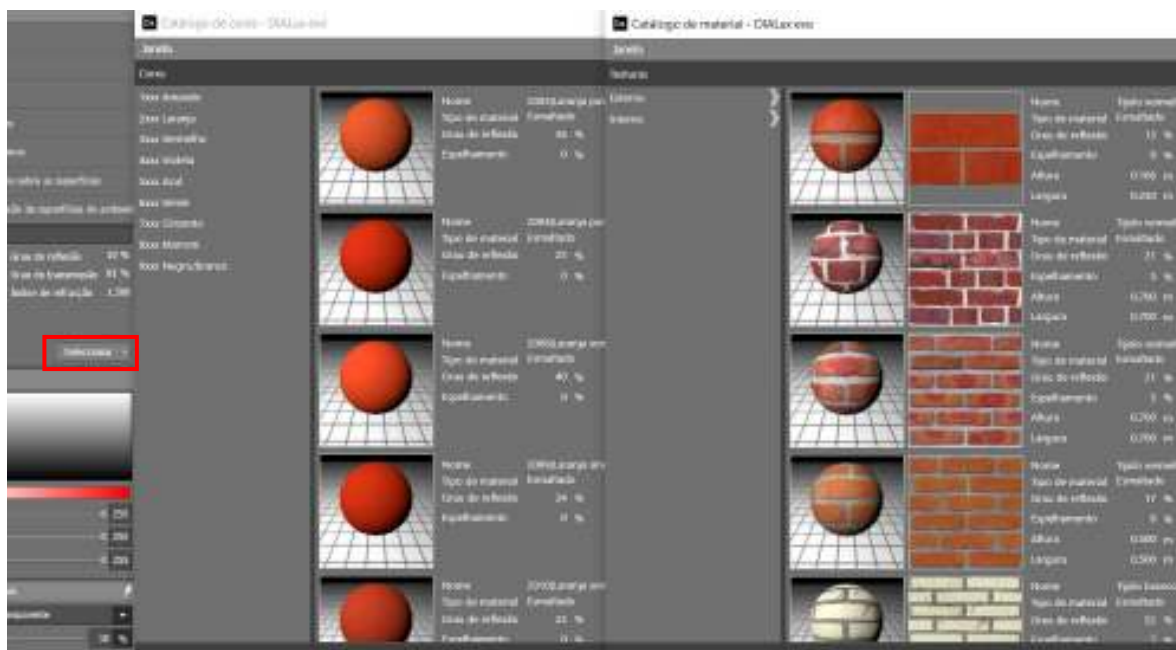


Fig. 39 - Catálogos disponíveis no programa DIALux® evo 9.1.

O menu “Luz” serve para inserir as luminárias mas, como não estamos a calcular a luz artificial, e sim a luz natural, neste caso este menu apenas foi útil para fazer os cenários de luz (ver figura 40).

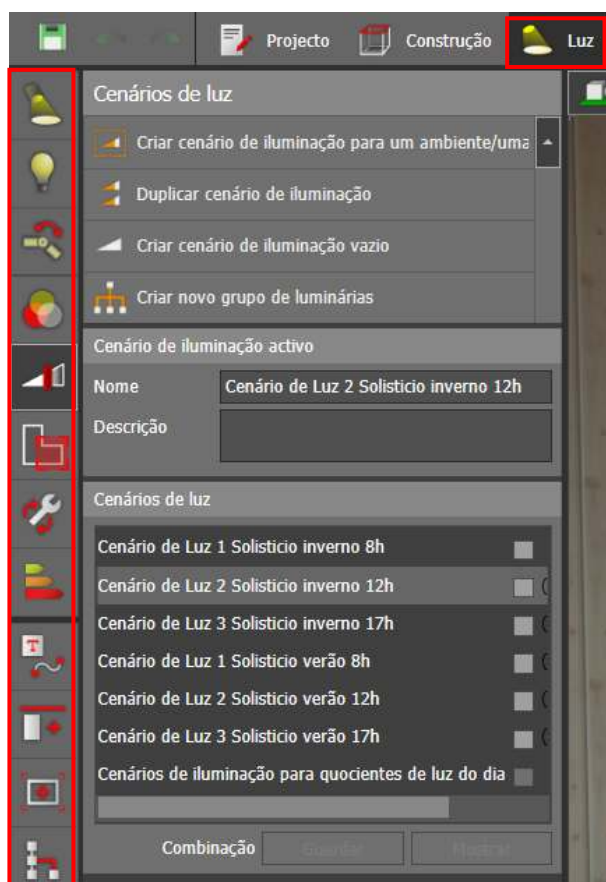


Fig. 40 - Configurações gerais da ferramenta “Luz” no programa DIALux® evo 9.1.

Ainda dentro do menu “luz” há possibilidade de escolher o tipo de céu, entre céu claro, médio e encoberto; a data, a hora e o local (ver figura 41).

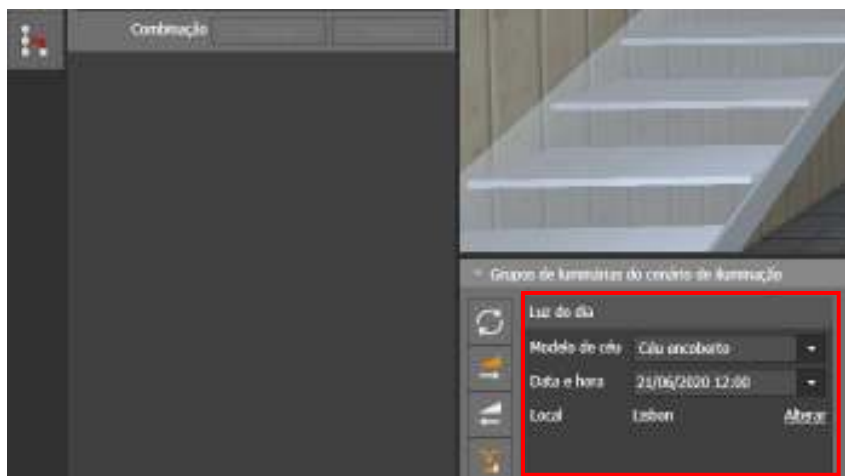


Fig. 41 - Configurações dos cenários de iluminação no programa DIALux® evo 9.1.

O menu “Objetos de cálculo” indica quais as áreas que serão utilizadas como referência para os cálculos e qual a sua altura (ver figura 42).

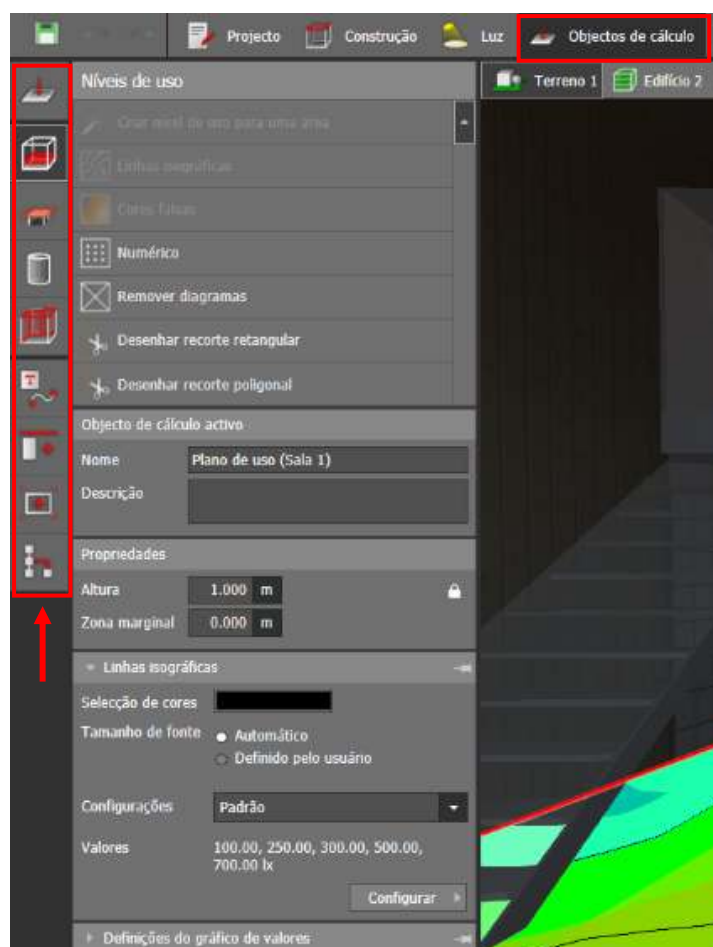


Fig. 42 - Configurações gerais da ferramenta “Objetos de cálculo” no programa DIALux® evo 9.1.

O menu “Exportar” cria vistas em 3D que depois serão guardadas como ficheiro de imagem. As vistas ainda podem ser renderizadas para obter melhor qualidade (ver figura 43).

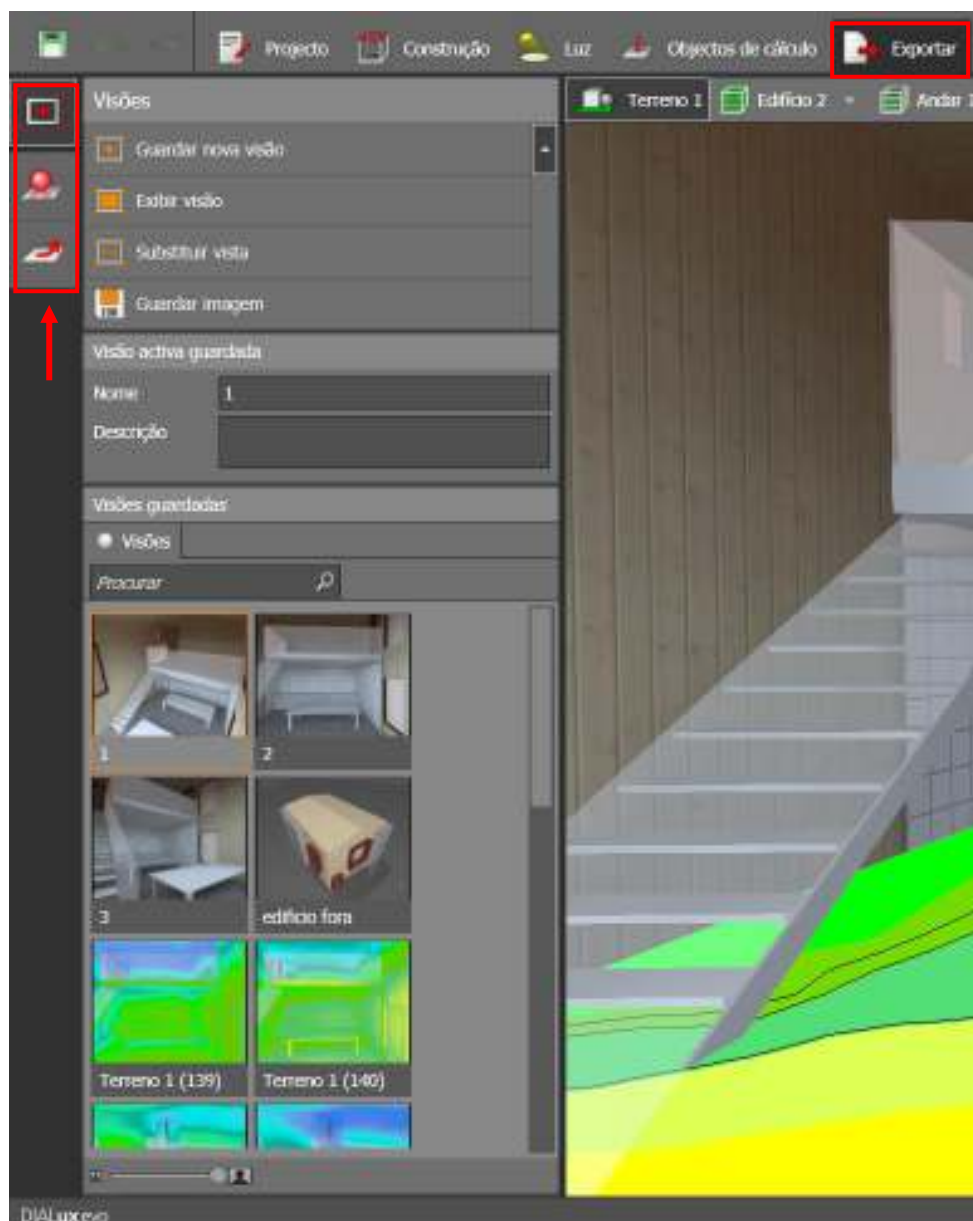


Fig. 43 - Configurações gerais da ferramenta “Exportar” no programa DIALux® evo 9.1.

A “documentação” refere o resumo dos resultados através de um relatório técnico, apresentando as plantas de linhas isográficas com os mapas de iluminância de cada cenário e tabelas com os dados dos resultados da iluminância média, máxima e mínima, e fator luz-dia médio, máximo e mínimo para cada cenário (ver figura 44).



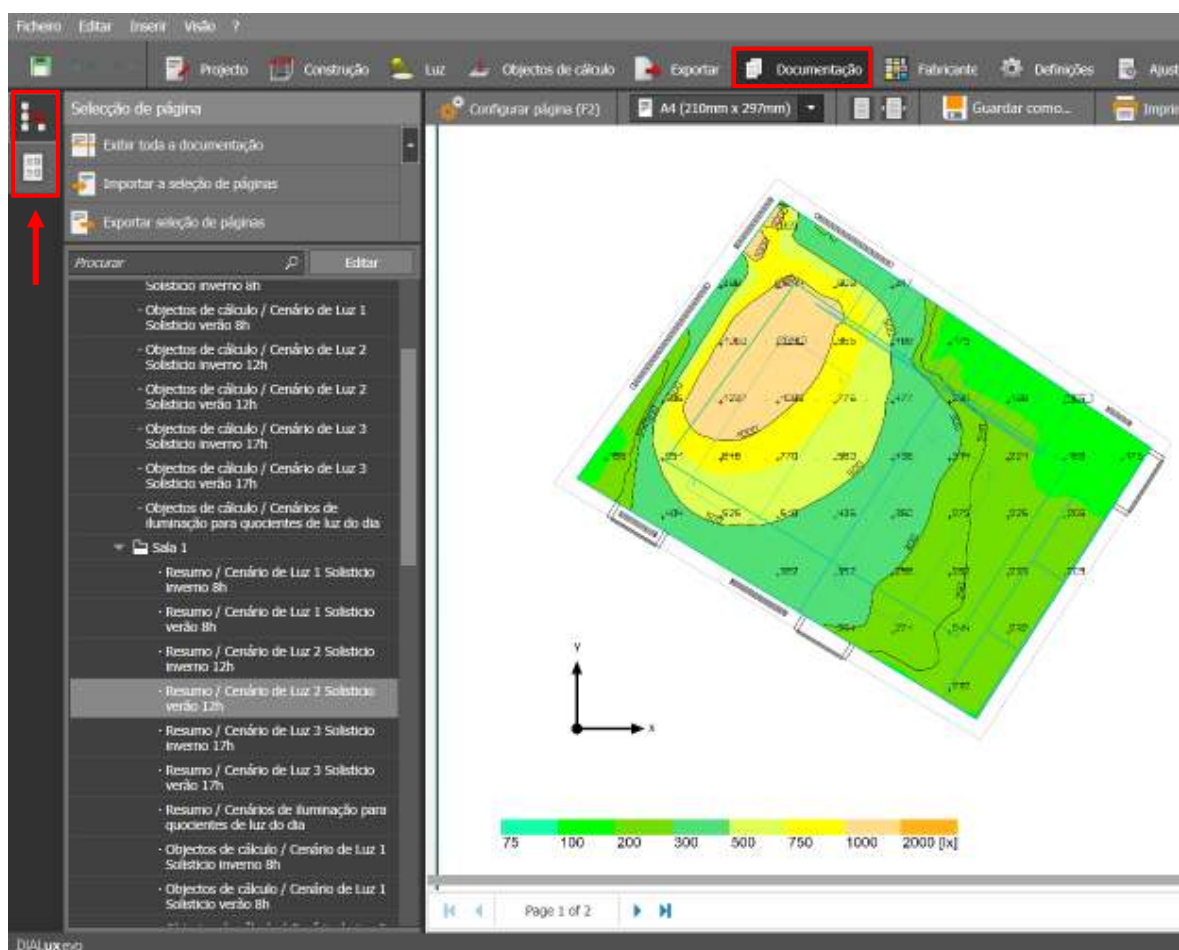


Fig. 44 - Configurações gerais da ferramenta “Documentação” no programa DIALux® evo 9.1.

Para iniciar o cálculo da luz basta clicar em “Projeto inteiro Todos os cenários” (ver figura 45). Cada vez que se alterar o projeto será preciso iniciar o cálculo novamente para atualizar

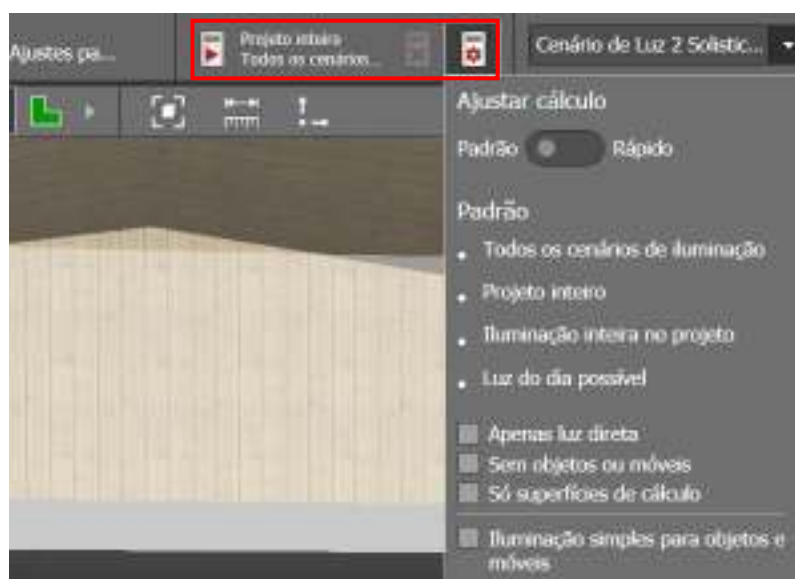


Fig. 45 - Modo de calcular a luz no programa DIALux® evo 9.1.

A barra horizontal seguinte (ver figura 46) mostra os tipos de visualização do projeto. É possível ver edifício a edifício ou ver o terreno com os vários edifícios e objetos através das vistas em 3D, em planta ou em perfil.

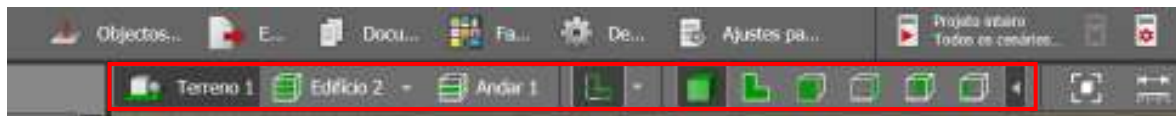


Fig. 46 - Barra de visualização do projeto no programa DIALux® evo 9.1.

No canto superior direito da tela existe outra serie de ferramentas que auxiliam a representação do projeto, como se pode verificar na figura 47. A ferramenta mais utilizada foi a simulação de cores falsas, onde a luz calculada é apresentada em cores frias e cores quentes, que representam a intensidade luminosa, quanto mais vermelho maior é a intensidade.

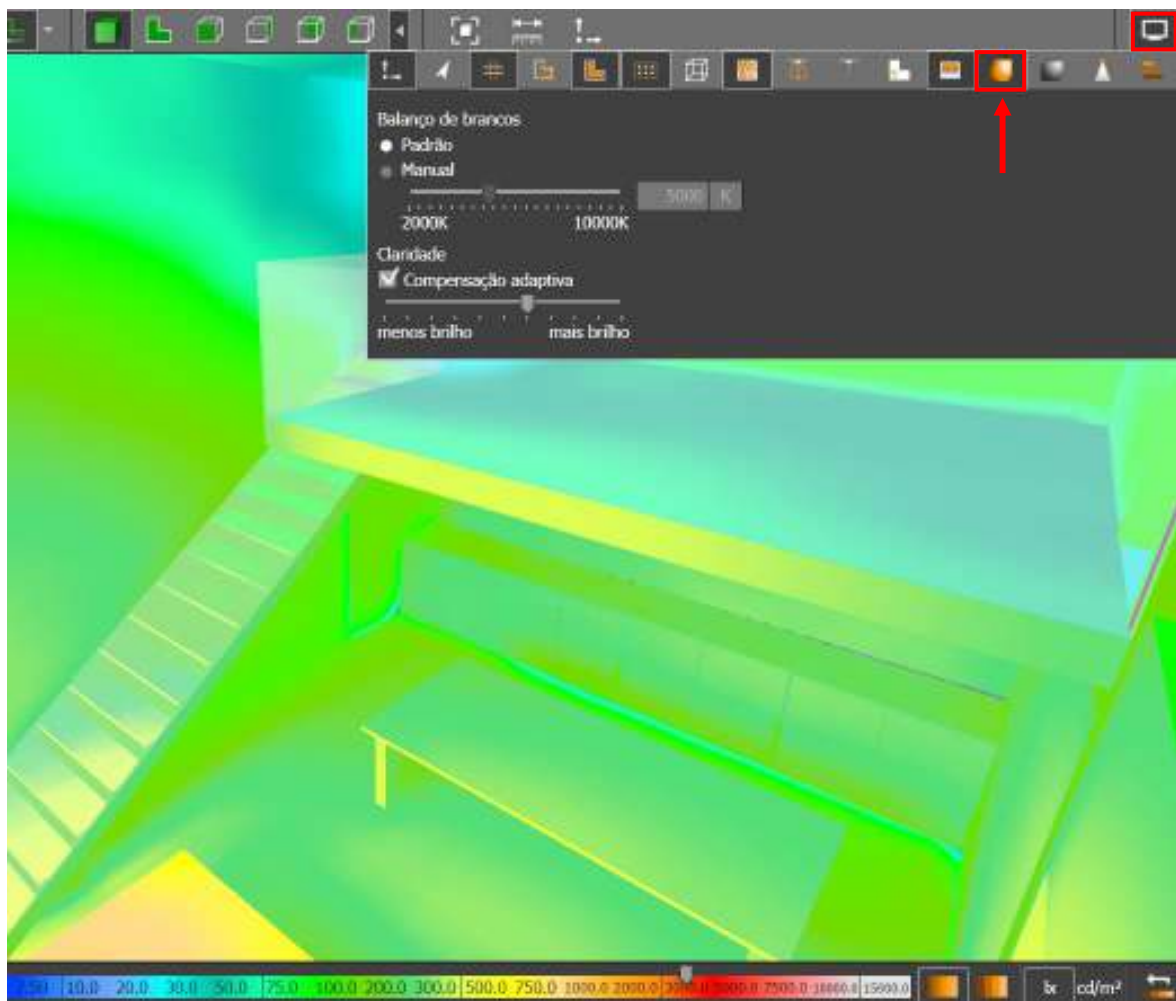


Fig. 47 - Opções de exibição – cores falsas no programa DIALux® evo 9.1.



#### **4. SIMULAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE LUZ NATURAL APLICADA A UM CASO DE ESTUDO**



#### 4. Simulação das condições de Luz Natural aplicada a um caso de estudo

Este capítulo tem como objetivo pôr em prática a aplicação dos conhecimentos adquiridos nos capítulos anteriores no melhoramento do caso de estudo como justificação e confirmação da veracidade dos factos estudados.

##### 4.1. Caracterização da Aldeia do Catarredor

Inserido na unidade curricular de projeto III, foi proposto uma intervenção de repovoamento nas aldeias de xisto na Lousã, mais propriamente na aldeia do Catarredor.

A Serra e Vila da Lousã são detentoras de um rico património histórico, cultural, gastronómico e natural, prova disso são as aldeias do xisto pertencentes a este município. Estas aldeias carregam história e tradições associadas aos povos que ali habitaram. São caracterizadas como espaços profundamente rurais, onde o tempo parou e levou os antigos habitantes a abandonar as aldeias para outras terras. Estas belezas escondidas encontram-se num perigoso estado de degradação.

Nesse sentido o objetivo deste projeto é o repovoamento de uma destas aldeias não classificadas - o Catarredor, integrando-a assim na rede de aldeias do xisto, com a preservação do património arquitetónico, cultural, social e paisagístico através do da requalificação dos espaços rurais e da reabilitação dos respetivos edifícios em falência, preservando a essência dos lugares e assumindo novas funções que se enquadrem nos parâmetros de vida atuais (ver figura 48).



Fig. 48 - Aldeia do Catarredor. Autor das Fotografias: Júlio Oliveira.

#### 4.1.1. Enquadramento geográfico

Segundo a Agência para o Desenvolvimento Turístico das Aldeias do Xisto (ADXTUR) a Serra da Lousã, localizada no distrito de Coimbra, está incluída na extremidade sudoeste da Cordilheira Central, a Cordilheira mais extensa de Portugal, que é formada pela Serra da Estrela, Serra do Açor e Serra da Lousã. Composto por um grande conjunto montanhoso que atravessa grande parte da Península Ibérica, de orientação nordeste para sudoeste, constitui sensivelmente uma divisão a meio do território português (ver figura 49).



Fig. 49 - Localização da Serra da Lousã. Desenho elaborado pela autora.

Pertencente ao concelho de Lousã, o Catarredor abrange, relativamente ao seu espaço edificado, uma área de aproximadamente 5,1 hectares estando, no entanto, a sua área de influência delimitada por um perímetro mais alargado de 11,8 hectares, na medida em que poderão ser encontradas algumas construções isoladas em redor do núcleo principal. Insere-se na região das beiras, mais especificamente beira litoral, e situa-se a cerca de 600 metros acima do nível do mar (ver figura 50).

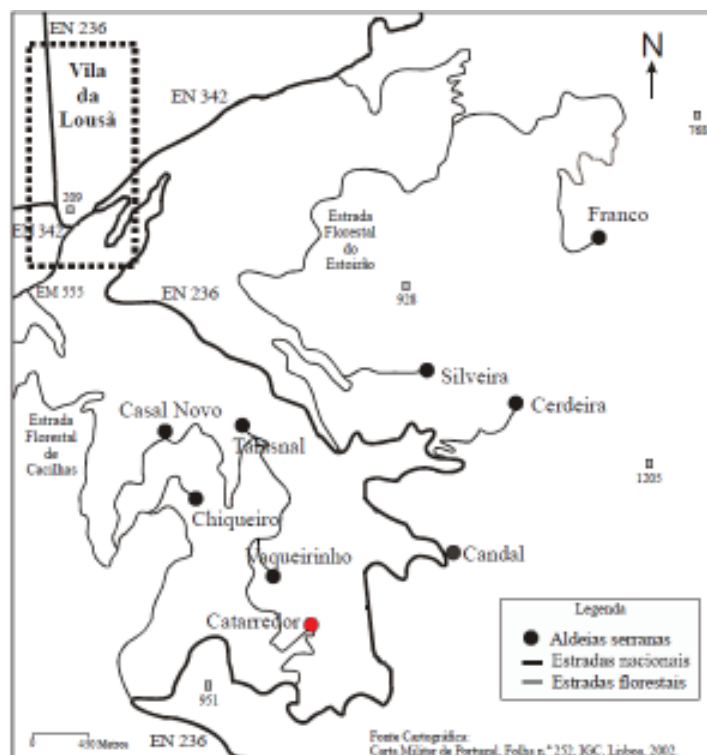


Fig. 50 - Localização das aldeias de xisto da serra da Lousã. Fonte cartográfica: Carta militar de Portugal, folha n.º252, IGC, Lisboa, 2002

#### 4.1.2. Aspetos climáticos

Para avaliar as várias vertentes físicas do concelho da Lousã é importante conhecer as suas condições climáticas. Para esse estudo foram considerados as condições meteorológicas médias da Lousã estabelecidas no website [weatherspark.com](http://weatherspark.com) - clima característico em Lousã, Portugal durante o ano de 2020.

O clima da região caracteriza-se da seguinte forma:

- A estação de verão é curta, com baixa humidade relativa e de céu pouco nublado;
- A estação de inverno é longa, com precipitação e de céu parcialmente encoberto;
- As temperaturas médias anuais varia entre 3 °C a 30 °C.

Estes dados podem ser observados na figura 51.

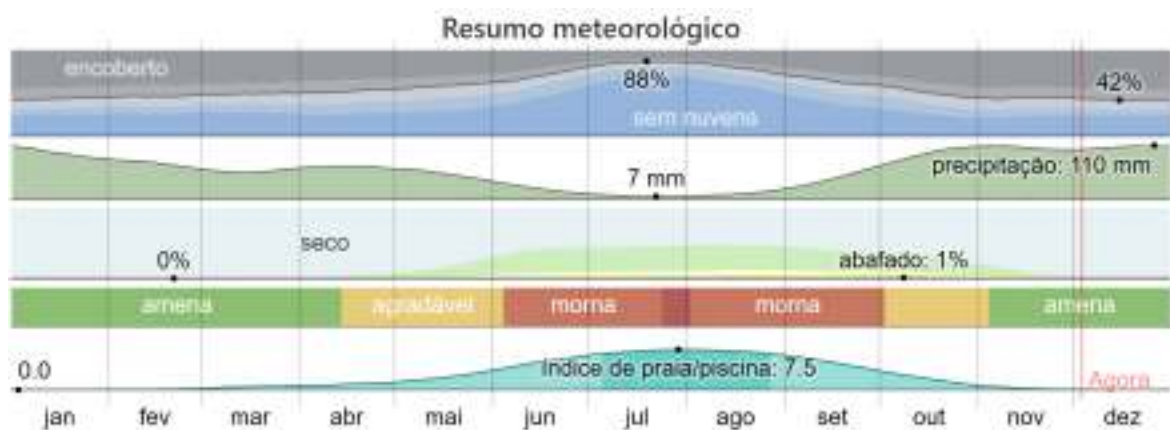


Figura 51 - Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Resumo meteorológico. Fonte: weatherspark.com

## Temperatura

Nesta região, de acordo com a figura 52, a estação de verão e a estação de inverno caracterizam-se da seguinte forma:

- A estação de verão tem a duração de 2,9 meses, entre os dias 21 de Junho a 17 de Setembro; a temperatura máxima diária em média situa-se acima de 26 °C;
- A estação de inverno permanece por 3,7 meses, entre os dias de 15 de Novembro a 6 de Março; a temperatura máxima diária em média situa-se abaixo de 16 °C.

Ainda de acordo com a figura 52, a amplitude térmica média anual caracteriza-se pela seguinte forma:

- O dia de temperatura mais alta anual verifica-se no dia 28 de Julho, sendo o seu intervalo de temperaturas entre 15 °C de temperatura mínima média e de 30 °C de temperatura máxima média;
- O dia de temperatura mais baixa anual verifica-se no dia 18 de Janeiro, sendo o seu intervalo de temperaturas entre 3 °C de temperatura mínima média e de 13 °C de temperatura máxima média.

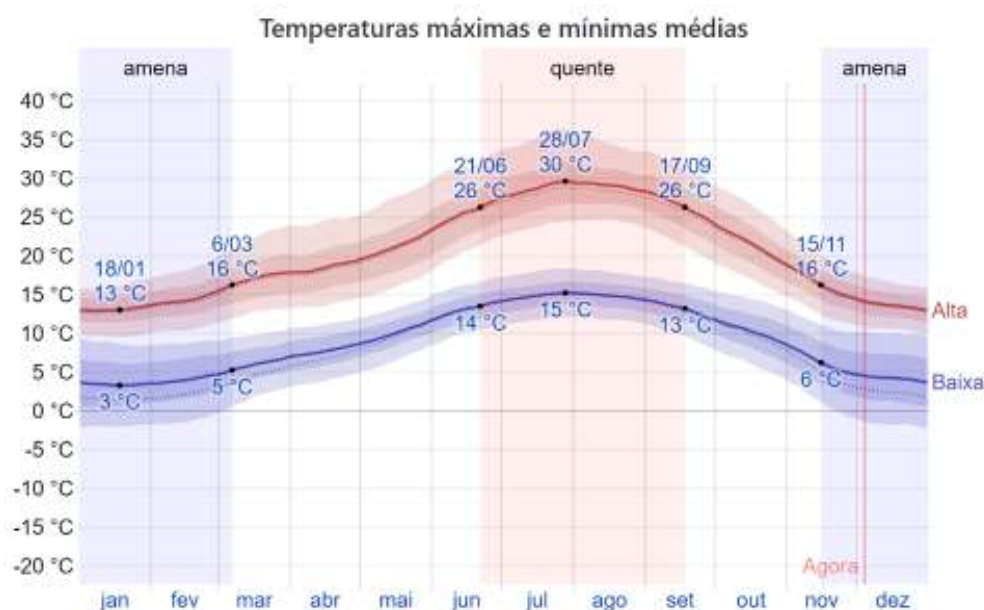


Figura 52 – Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Temperaturas máximas e mínimas médias. Fonte: weatherspark.com

## Nuvens

Como se observa na figura 53, na Lousã a percentagem média de céu encoberto varia anualmente da seguinte forma:

- A altura do ano menos encoberta tem a duração de 3,3 meses, entre os dias 7 de Junho a 15 de Setembro; o dia do ano que permanece com menos nuvens no céu é o dia 19 de Julho.
- A altura do ano mais encoberta tem a duração de 8,7 meses, entre os dias 15 de Setembro e 7 de Junho; o dia do ano que permanece com mais nuvens no céu é o dia 15 de Dezembro.

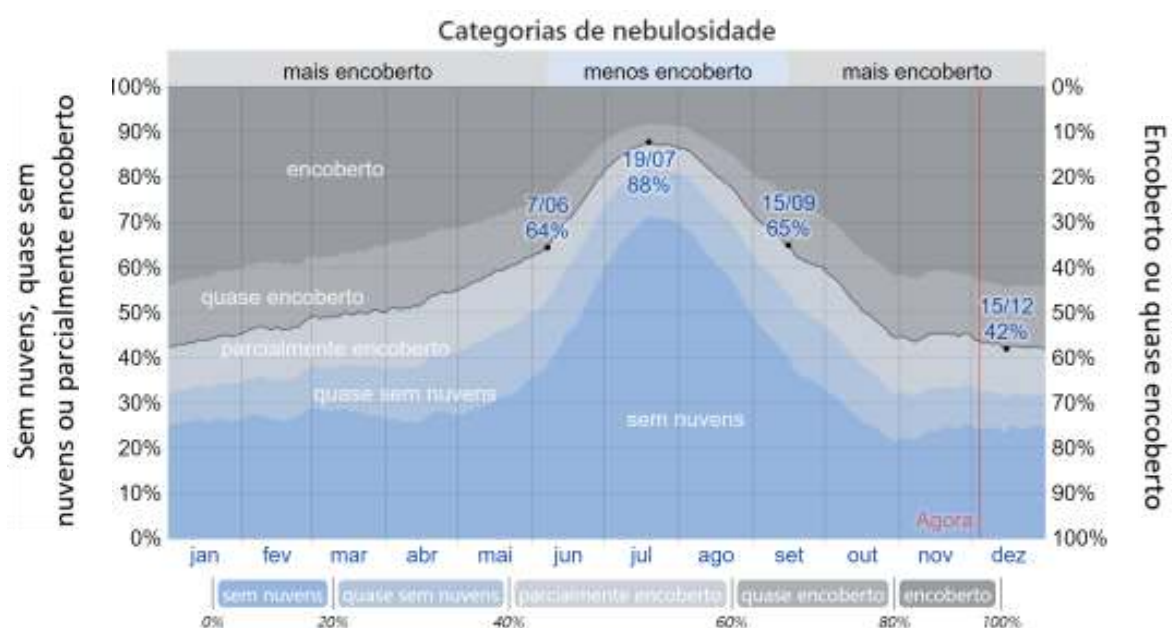


Figura 53 - Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Categorias de nebulosidade. Fonte: weatherspark.com



## Sol

Na Lousã, as horas de luz solar variam no decorrer do ano, conforme se verifica na figura 54. O dia mais curto do ano verifica-se no dia 21 de Dezembro, com a duração de 9 horas e 19 minutos de luz solar. O dia mais longo do ano verifica-se no dia 20 de Junho, com a duração de 15 horas e 2 minutos de luz solar.



Figura 54 - Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Horas de luz solar e crepúsculo. Fonte: weatherspark.com

Segundo a figura 55, o gráfico apresentado mostra que:

- O nascer do sol mais cedo ocorre no dia 14 de Junho, às 06h03.
- O nascer do sol mais tarde ocorre no dia 5 de Janeiro, às 07h55.
- O pôr-do-sol mais cedo ocorre no dia 7 de Dezembro, às 17h07.
- O pôr-do-sol mais tarde ocorre no dia 27 de Junho, às 21h06.
- O horário de verão começa no dia 29 de Março na primavera, e termina no dia 25 de Outubro no outono.

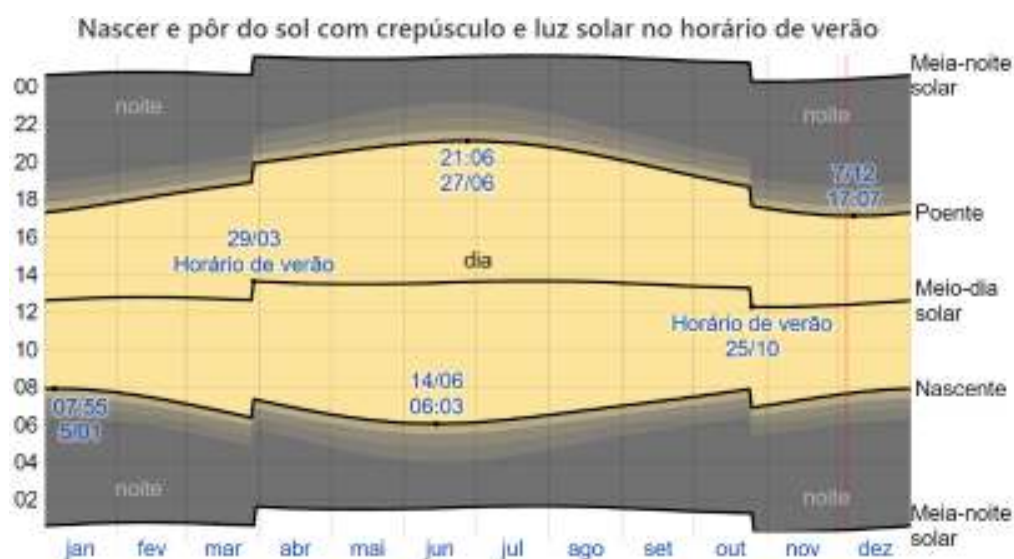


Figura 55 - Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Nascer e pôr-do-sol com crepúsculo e luz solar no horário de verão. Fonte: weatherspark.com



## Energia solar

O gráfico seguinte mostra a radiação média diária de energia solar de ondas curtas incidentes na superfície do solo por metro quadrado, estando consideradas as variações sazonais ao longo do dia, a projeção do sol acima do horizonte e a concentração de nuvens e outros componentes atmosféricos.

Como mostra na figura 56 há uma grande variação da radiação de energia solar ao longo do ano:

- A época do ano com mais radiação incidente ocorre nos dias 17 de Maio a 20 de Agosto, com a duração de 3,1 meses, e de radiação média acima dos 6,8 kWh.
- O dia do ano com mais radiação incidente ocorre no dia 5 de Julho, com radiação média de 8,0 kWh.
- A época do ano com menos radiação incidente ocorre nos dias 24 de outubro a 15 de Fevereiro, com a duração de 3,7 meses, e de radiação média abaixo dos 3,1 kWh.
- O dia do ano com menos radiação incidente ocorre no dia 19 de Dezembro, com radiação média de 1,8 kWh.

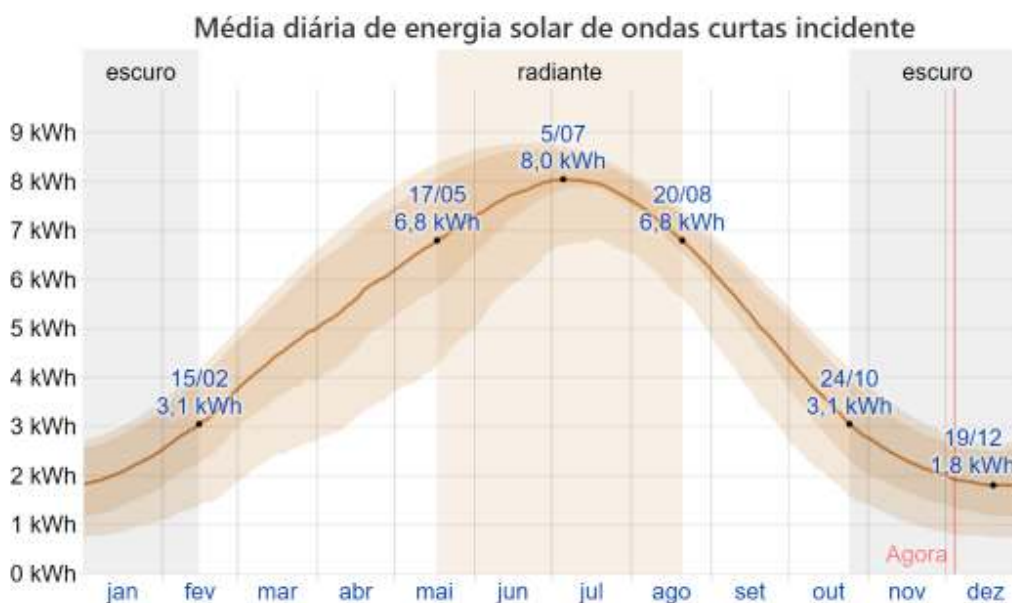


Figura 56 - Gráfico das condições meteorológicas médias da Lousã – Média diária de energia solar de ondas curtas incidente. Fonte: weatherspark.com

#### 4.1.3. Caracterização construtiva das edificações existentes

“A povoação nasceu aos poucos, conforme as necessidades das diferentes épocas, sem preocupações de conjunto. Cada um construiu segundo lhe pareceu mais conveniente, ou segundo o terreno de que dispunha, devendo os primeiros ter começado a alinhar as casas ao longo do caminho, quando este atravessava a parte mais própria para a fixação da povoação, sem que devesse haver nenhuma tendência espacial para ordenar as ruas”. (Dias, 1983:39) Nunca houve portanto um plano previamente estruturado em relação à disposição das construções.

“Regra geral, a escolha do lugar não era fruto do acaso. A proximidade de uma linha de água e dos seus terrenos férteis adjacentes, o resguardo do monte em relação aos ventos predominantes e a orientação das construções relativamente ao sol, são alguns exemplos das premissas que condicionam essa implantação.” (Ribeiro, 2008:64)

Estamos perante uma arquitetura Vernacular. Na aldeia do Catarredor as casas eram construídas com os materiais locais, com as técnicas construtivas tradicionais e as suas tipologias eram resultado das necessidades da exploração da terra. Os materiais utilizados eram os que se encontravam disponíveis na serra, neste caso, o xisto e as madeiras de castanheiro e de pinho.

As construções são, na sua maioria compostas por dois pisos distintos funcionalmente, de planta quadrada ou retangular e de proporções modestas. O piso inferior era utilizado como armazém agrícola, loja ou destinado ao gado. O abrigo dos animais nos pisos inferiores era uma importante fonte de calor para os pisos superiores, onde residiam os proprietários.

As paredes exteriores são praticamente as únicas paredes estruturais das construções com uma espessura de 0,60m. A inércia térmica que as paredes espessas alcançam permitem um maior conforto no interior em relação às temperaturas exteriores, que por norma é rebocada pelo interior de forma a minimizar a transferência de ar, temperatura do exterior para o interior e a passagem de insetos e outros animais de pequeno porte. Ainda assim as casas continuam a ser bastante frias durante o inverno principalmente porque possuem apenas lareira nas cozinhas, divisões normalmente sem teto falso e fortemente ventiladas. Desta forma, a única divisão com aquecimento perde-o pela dissipação de calor pela cobertura enquanto as restantes divisões, que possuem geralmente tetos falsos, não usufruem de nenhum sistema de aquecimento.

Nas coberturas predominavam os telhados de duas águas. A estrutura da cobertura era feita de madeira de castanheiro, de carvalho ou de pinho. O revestimento das coberturas eram geralmente feitas com lajetas de xisto, substituídas, posteriormente, por telhas soltas de canudo com beirados de lajetas de xisto, eram dispostas pedras nos beirados e sobre as telhas para o vento não as levar.

Os materiais construtivos disponíveis no local, o clima e os métodos construtivos são determinantes para o número, tamanho e o tipo de abertura. Os vãos dos edifícios da aldeia do Catarredor são pequenos e em pequena quantidade, isto justifica-se pela dificuldade construtiva em perfurar as espessas paredes, encontrar peças de cantaria que cobrissem os vãos e aguentassem o peso da alvenaria e pelo custo do vidro. As reduzidas janelas tinham o objetivo de proteger do frio que faz na Serra, em conjugação com a inércia das paredes e com o calor dos animais no piso inferior ajudava a manter a temperatura interior. Eram ainda construídas em alguns edifícios claraboias nos telhados inclinados (ver figuras 57 e 58).

Os vãos são os pontos mais frágeis da construção, na medida em que suportam as cargas dos lintéis, constituem interrupções nas paredes e necessitam de se adaptar à forma e ao tamanho da parede onde se inserem. É portanto, fundamental que haja um maior cuidado na sua execução; tanto nas portas como nas janelas, existem três elementos construtivos essenciais: as ombreiras, as padieiras e o peitoril (nas janelas) ou a soleira (nas portas). Os materiais de construção utilizados no peitoril e na soleira não variam muito, sendo essencialmente constituídos por lajetas de xisto, rebocado ou não. A madeira era utilizada em raros casos, devido ao facto de estar constantemente exposta às ações dos agentes atmosféricos. Pode ser observada apenas nos peitoris das janelas de habitações que já foram recuperadas, estando assim, menos expostas às condições do exterior.



Fig. 57 - Fotografias das várias tipologias de janelas na aldeia do Catarredor. Fotografias da autora.



Fig. 58 - Claraboias nos telhados inclinados na aldeia do Catarredor. Autor das fotografias: Júlio Oliveira



#### 4.2. Caso de estudo: Queijaria Artesanal

A aldeia do Catarredor apesar de se encontrar em ruínas é um lugar que ainda mantém ilesos os valores simbólicos, históricos e paisagísticos. A maneira encontrada pelos antepassados de se sustentar, habitar e trabalhar esta paisagem, a maneira de construir e adaptar os espaços às suas necessidades em harmonia com a natureza, deixaram marcas que persistem ao longo dos tempos concedendo a este lugar uma forte personalidade.

É necessário portanto valorizar a história e tratá-la como um percurso, defender o passado enquanto memória e valores, atualizando-o, acompanhando-o e orientando-o em formas contemporâneas, construindo assim, uma visão histórica de tudo.

##### 4.2.1. Identificação do edifício

O edifício em questão situa-se na meia encosta da serra, envolvida de floresta, ruínas e socalcos sustentados por muros de pedra, como se observa nas figuras 59, 60 e 61.

Esta disposição arquitetónica ocorria devido aos seus antepassados, como forma de tirar o máximo proveito dos recursos existentes nas zonas mais baixas, onde existia maior abundância de água, predominava o uso agrícola.



Fig. 59 - Localização do edifício na aldeia do Catarredor. Fonte: Google Maps - Catarredor.

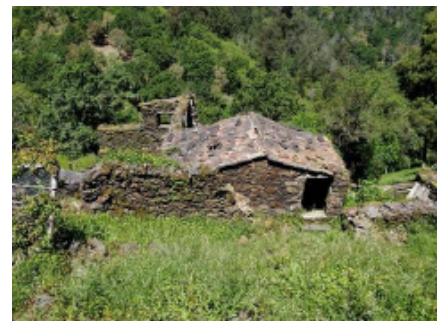


Fig. 60 e 61 - Fotografias do edifício no exterior. Fotografias da autora.

Um dos objetivos da reconstrução e repovoação da aldeia passa pelo sustento económico através da produção agrícola. Prevê-se o desenvolvimento de atividades relacionadas com a produção de artesanato após a extração agrícola e a sua posterior comercialização.

No estudo do desempenho da luz natural na arquitetura vernacular faz sentido pensar que a necessidade de luz dentro do edifício varia para cada atividade. Deste modo a área escolhida para estudar é a área do trabalho, nomeadamente a produção de queijos artesanais. Trabalhar neste tipo de atividade obriga a uma maior necessidade de incidência da luz natural no sentido de melhorar o desempenho do artesão e reduzir os custos energéticos do edifício.

**Planta da localização da Queijaria Artesanal na aldeia do Catarredor.**



Fig. 62 - Planta da localização da Queijaria Artesanal na aldeia do Catarredor. Desenho elaborado pela autora.



A escolha do edifício foi baseada na procura de intervir numa construção que não estivesse em ruína absoluta, nem recuperada e habitada pois pretende-se entrar, identificar e calcular os vãos existentes dentro do edifício. Neste sentido foi escolhida esta construção, ver figura 63, com a capacidade de reabilitação, com boa exposição solar e de vários pisos, para encontrar as soluções construtivas mais interessantes que melhorem o seu desempenho.

O edifício correspondente à queijaria artesanal está localizada num terreno declivoso assim como a maioria das construções da aldeia, com uma parte do piso rés-do-chão enterrado, divide-se em dois volumes já existentes. As paredes do edifício são constituídas em alvenaria de xisto, algumas em mau estado de conservação e sem qualquer tipo de isolamento no seu interior, a maior parte das aberturas das janelas e portas contém apenas as padieiras e os peitoris de madeira, sem caixilho, porta ou vidro. O chão apresenta-se em terra com pedras de xisto e telhas que foram caindo ao longo do tempo. Quanto à cobertura é em telha cerâmica mas apenas se encontra metade desta e em mau estado de conservação. É possível verificar estas características na figura 63 e 64.





Fig. 63 - Fotografias do interior e exterior da queijaria em ruínas na aldeia do Catarredor. Fotografias da autora.

#### 4.2.2. Proposta de intervenção

Na reconstrução dos edifícios da aldeia é proposto a preservação da história das aldeias de xisto através da valorização do material das construções - o Xisto. Segundo a Carta de Veneza os monumentos históricos perduram até aos nossos dias como testemunhas vivas das tradições de várias gerações. A responsabilidade coletiva de proteger o património comum para as gerações futuras é reconhecida. Neste sentido as ruínas são conservadas tal e qual como estão pois são vistas como preservação da memória do passado e vivências de um futuro. Estabelece-se cuidados especiais que visem resguardar a sua integridade e assegurar a valorização através da manutenção dos materiais para conservar o existente de modo a criar sobretudo segurança ao utilizador.

As medidas das aberturas das janelas e das portas foram mantidas, assim como a cobertura de duas águas de modo a conseguir a leitura do passado e dar continuidade às características formais das construções. Para colmatação das construções é implementado um novo material, criando assim um confronto entre o velho e o novo através da madeira, um material natural, sustentável, de fácil montagem, de muita disponibilidade de matéria-prima na serrã da Lousã, e não causa impacto na natureza nem impacto visual. A estrutura de madeira é implementada dentro da ruína, como que "o novo nasce dentro do velho". Traduz-se na simplicidade tanto na forma como na materialidade. Com a inclusão deste novo material como forma estrutural, conseguiu-se colmatar os edifícios que estavam em rotura, trazendo um pouco de modernidade aplicado agora às novas necessidades, tornando os edifícios mais eficientes sem romper com a memória do local e em respeito com o material existente.

As aberturas das portas e das janelas na madeira foram colocadas nos locais determinados pelo layout das aberturas existentes, no sentido de dar continuidade ao material. A madeira foi utilizada também no telhado como se de uma "caixa" se tratasse.



Para melhor percepção das alterações feitas, são comparadas as plantas do antes e depois da queijaria dos vários pisos (Figuras 64 e 65).

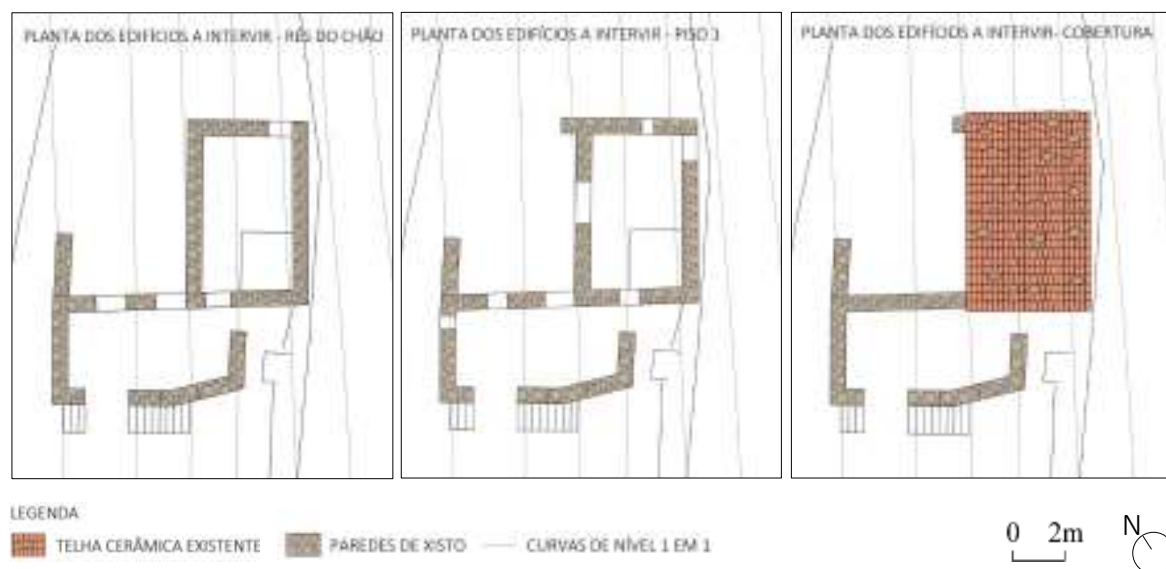


Fig. 64 - Plantas da queijaria artesanal na aldeia do Catarredor - Antes. Desenho elaborado pela autora.



Fig. 65 - Plantas da queijaria artesanal na aldeia do Catarredor – Depois. Desenho elaborado pela autora.

Legenda:

- 1- Sala de produção e embalamento
- 2- Sala de armazenagem do leite e maturação do queijo
- 3- Sala de exposição e prova de queijos
- 4- Instalação sanitária
- 5- Sala de expedição

Como se demonstra nas plantas acima referidas, a queijaria distribui-se por dois pisos, o primeiro piso de receção aos visitantes, com um momento de degustação do queijos e de contemplação do trabalho dos produtores de queijo através do meio piso, e no volume mais pequeno, uma instalação sanitária e uma sala de expedição do material finalizado, pronto a

ser vendido. No piso do rés-do-chão uma sala de produção e embalagem do queijo no qual existe a possibilidade de haver workshops sobre os procedimentos da produção do queijo e no volume mais pequeno uma câmara frigorífica onde se armazena o leite e matura o queijo.

Quanto aos acabamentos, nas zonas húmidas e de lavagem constante é utilizado o revestimento cerâmico como por exemplo na casa de banho e na sala de produção do queijo, de forma a garantir uma boa higienização. Nas restantes zonas é utilizada o acabamento em madeira de pinho, tanto no interior como no exterior para dar continuidade ao material e unificar a forma.

A marcação das janelas e das portas são mantidas nas alvenarias de xisto para não retirar a identidade da construção e serão implementadas janelas nos novos volumes de madeira na mesma posição que essas aberturas iniciais. Dando destaque à iluminação natural, foram criadas duas janelas maiores e salientes do volume para garantir uma boa iluminação na área de trabalho, melhorando assim o desempenho do produtor e o desempenho energético do edifício, para isso foram analisadas as medidas das janelas já existentes na aldeia, ao qual se concluí que a maior parte das janelas compreendem-se entre:



Fig. 66 - Medidas das janelas características da aldeia do Catarredor. Desenho elaborado pela autora.

A partir dessas medidas foi criado um padrão para chegar às medidas das novas janelas (ver Figura 67).

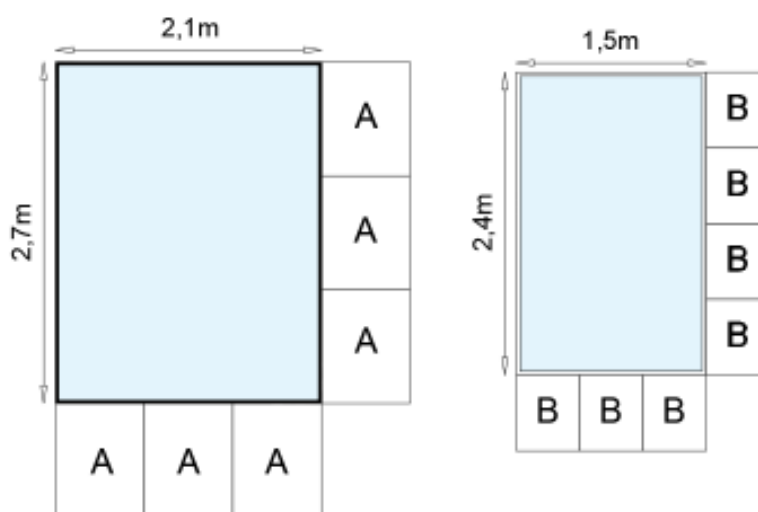


Fig. 67 - Medidas dos novos vãos. Desenho elaborado pela autora.

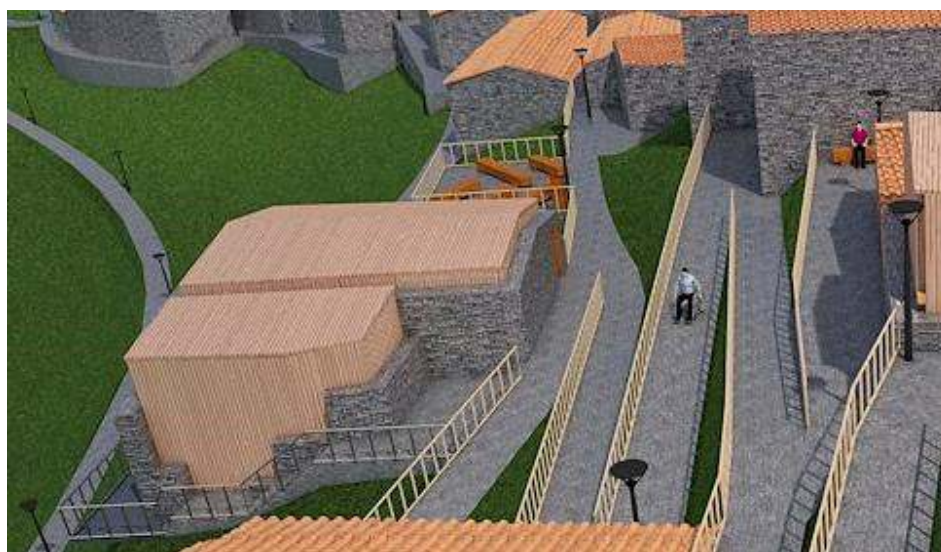
A seguir é apresentado as perspetivas da proposta da queijaria artesanal e a sua intervenção envolvente na aldeia em 3D.



a)



b)

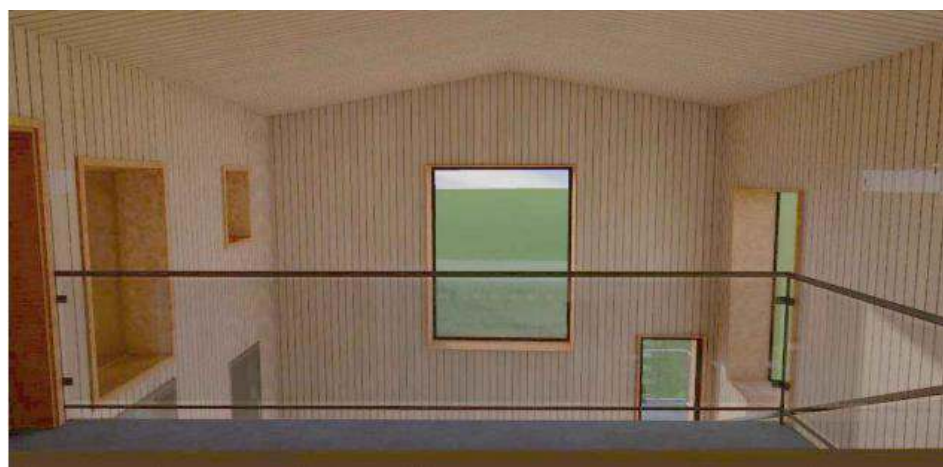


c)





d)



e)



f)

Fig. 68 - Perspetivas da queijaria artesanal: a), b), c), e d) – Perspetivas do exterior da Queijaria Artesanal; e) e f) – Perspetivas do interior da Queijaria Artesanal. Produzidas no programa Archicad® 23 pela autora.

#### 4.3. Aplicação do DIALux® evo 9.1 no projeto da Queijaria Artesanal

A utilização da ferramenta de simulação de iluminação teve como objetivo auxiliar o projeto de restauro da queijaria para melhorar a sua componente de luz natural, a fim de atingir os níveis de conforto visual exigidos e, portanto, o parâmetro de eficiência energética, sem comprometer os princípios de restauro.

Visto se tratar de uma obra de raiz, as possibilidades de mover com a orientação do edifício eram muito limitadas, considerou-se as aberturas acima mencionadas, na figura 65, janela (J1) com 2,10m de largura por 2,70m de altura, orientada a Noroeste e com uma distância de 3,15m do centro da janela ao piso, e a janela (J2) com 1,50m de largura por 2,40m de altura, orientada a Nordeste e com uma distância de 3,15m do centro da janela ao piso.

Há ainda uma pequena janela (J3) com 0,50m de largura por 0,65m de altura, já existente no piso superior que para o plano de trabalho do piso inferior não terá grande interferência.

As restantes janelas existentes no interior não interferem nos cálculos do fator luz dia pois são janelas de acesso ao interior da outra parte do edifício.

A porta (P2) de acesso ao piso inferior exterior também é de vidro, para garantir maior entrada de luz.

Para solucionar uma possível falta de iluminação natural na zona enterrada do edifício é inserido um ducto de luz na fachada sudeste, entre a parede de xisto e a parede de madeira, de modo a haver uma ligação entre a cobertura reconstruída e o piso inferior.

Para melhor perceção das alterações do ducto de luz nos valores de Iluminância ( $\bar{E}$ ) e no fator luz dia da queijaria, avaliaram-se 3 cenários:

1º - Com os vãos da fachada.

Os resultados produzidos pelo programa de simulação foram analisados para entender quais as zonas internas que não atendiam aos requisitos de iluminância.

2º - Com os vãos da fachada e integração do ducto de luz.

O segundo cenário foi desenvolvido para melhorar a iluminância nas zonas mais escuras, bem como, perceber quais os parâmetros que podem ser alterados para melhorar a componente de luz natural no interior da queijaria.

3º - Com os vãos da fachada, integração do ducto de luz e alteração das refletâncias dos materiais de acabamento no interior.

Demostrou quais as melhorias alcançadas.

#### 4.3.1. Parâmetros computacionais e dados de entrada

O local de intervenção está localizado nas coordenadas de Latitude 40.074765 e de Longitude -8.2199974.

Para cada um dos cenários foram consideradas as seguintes datas e horários:

Solstício de inverno (21 de Dezembro de 2020) às 8:00h, 12:00h e 17:00h; e solstício de verão (21 de Junho de 2020) às 8:00h, 12:00h e 17h:00. O horário foi acertado de acordo com o horário de trabalho.

Das condições de céu disponíveis no programa de simulação, o modelo de céu escolhido foi o encoberto, que corresponde ao padrão Comissão Internacional de iluminação (CIE).

#### 4.3.2. Plano de trabalho

A área que vai ser estudada na queijaria é a sala de produção e embalagem, que é definida como o plano de trabalho, com 7,63m por 5,40m de comprimento e com uma área de 41, 20m<sup>2</sup>.

O plano de trabalho para resultados da iluminância e fator da luz-dia foi definido a 1,00 m de altura, mais ou menos pela altura das mesas onde se vai executar as tarefas, como se pode verificar na Figura 69.

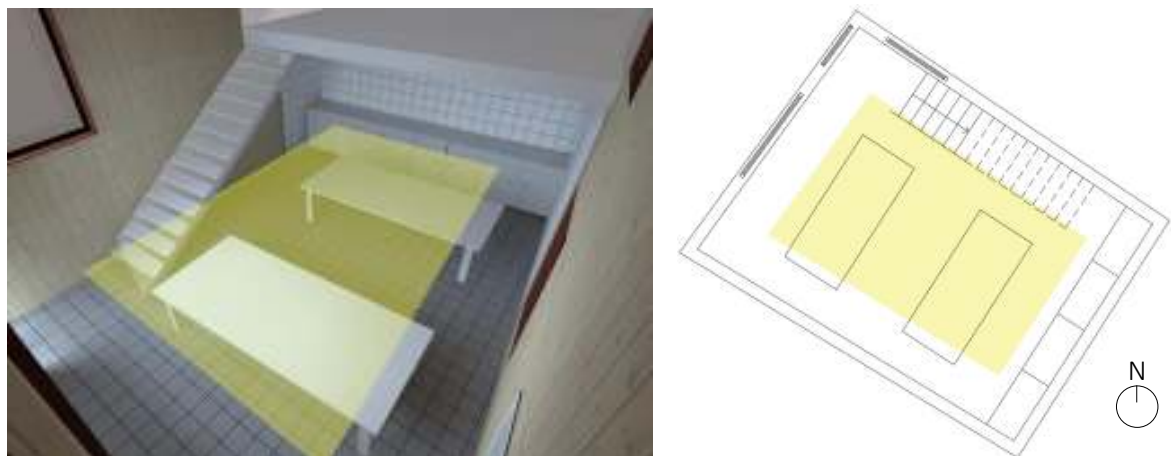


Fig. 69 - Identificação do plano de trabalho em 3D e planta.

#### 4.3.3. Grelha de iluminância

Uma grelha quadrada de células foi configurada para calcular os valores de iluminância conforme recomendado na cláusula 4.4 e fornecido na Tabela A.1, anexada a prEN 12464-1 (Comité Européen de Normalisation, CEN, 2019: 67) (Tabela 6).

Devido ao comprimento da sala da queijaria exceder os 5 metros estabelecidos na norma, optou-se por orientar pelos 10 metros.

**Tabela 6 - Espaçamento dos pontos da grelha recomendado pela prEN 12464-1 (CEN, 2019:67) para o caso de estudo.**

Comprimento da área	Distância máxima entre os pontos da grelha	Número mínimo de pontos da grelha
m	m	
0,40	0,15	3
0,60	0,20	3
1,00	0,20	5
2,00	0,30	6
5,00	0,60	8
10,00	1,00	10
25,00	2,00	12
50,00	3,00	17
100,00	5,00	20

A fim de melhorar a precisão dos resultados calculados, o sistema de grelha para calcular a iluminância e o fator de luz do dia foi definido como uma grelha quadrada de células com comprimento de 0,50m e com 43 números de pontos, dados pelo programa DIALux® evo 9.1 (Tabela 7).

**Tabela 7 - Espaçamento dos pontos da grelha para o caso de estudo.**

Comprimento da área (m)	Distância entre os pontos da grade (m)	Número dos pontos da grade
7,63	0,50	43

#### 4.3.4. Necessidades de iluminação

De acordo com a prEN 12464-1, o nível mínimo de iluminância necessário  $\bar{E}_{m,r}$ , especifica o nível de luz mantido sobre o posto de trabalho a fim de cumprir a tarefa visual. Além disso, prEN 12464-1 adiciona um novo nível de iluminância superior  $\bar{E}_{m,u}$  para especificar o nível de iluminância máximo para garantir o conforto visual. Assim, a Iluminância Média ( $\bar{E}$ ) deve estar dentro da faixa entre  $\bar{E}_{m,r}$  e  $\bar{E}_{m,u}$  (Comité Européen de Normalisation, 2019: 9).

Para as necessidades de iluminação, a proposta da nova atividade de fabricação de queijo artesanal não existe na cláusula 6 da prEN 12464-1 (ibidem 2019: 23), portanto foi escolhida uma atividade semelhante conforme descrito na “Tabela 6.12 Atividades Industriais e Artesanais - Alimentos e Indústria Alimentar de Luxo”, considerando os valores de referência número 6.12.2 “Triagem e lavagem de produtos, moagem, mistura, embalagem”

da prEN 12464-1 (ibidem. 2019: 34) que estabelece a faixa de iluminância média ( $\bar{E}$ ) entre 300 lux e 500 lux. (Tabela 8)

**Tabela 8 - Atividades Industriais e Artesanais - Alimentos e Indústria Alimentar de Luxo pela prEN 12464-1 (CEN, 2019:34)**

Ref. no.	Type of task/activity area	$\bar{E}_{ref}$ lx	$\bar{E}_{min}$ lx	$U_a$	$R_a$	$R_{ref}$	$\bar{E}_r$ lx	$\bar{E}_{min,ref}$ lx	$\bar{E}_{max,ref}$ lx	Specific requirements
6.12.1	Work stations and zones in: - breweries, malting floor, - for washing, barrel filling, cleaning, sieving, peeling, - cooking in preserve and chocolate factories, - work stations and zones in sugar factories, - for drying and fermenting raw tobacco, fermentation cellar	200	300	0,40	80	25	50	75	30	
6.12.2	Sorting and washing of products, milling, mixing, packing	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
6.12.3	Work stations and critical zones in slaughter houses, butchers, dairies mills, on filtering floor in sugar refineries	500	750	0,60	80	25	150	150	75	
6.12.4	Cutting and sorting of fruit and vegetables	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
6.12.5	Manufacture of delicatessen foods, kitchen work, manufacture of cigars and cigarettes	500	750	0,60	80	22	150	150	75	
6.12.6	Inspection of glasses and bottles, product control, trimming, sorting, decoration	500	750	0,60	80	22	150	150	100	
6.12.7	Laboratories	500	750	0,60	80	19	150	150	100	
6.12.8	Colour inspection	1 000	1 500	0,70	90	19	150	150	100	4 000 K $\leq T_{CP} \leq$ 6 500 K

#### 4.3.5. Valor de refletância de luz (LRV)

Para o conforto visual no trabalho, prEN 12464-1 recomenda o seguinte LRV para as superfícies dos materiais (Comité Européen de Normalisation, 2019: 8): teto: 0.7 a 0.9; paredes: 0.5 a 0.8; e piso: 0.2 a 0.6.

Os valores para a reflexão da luz nas superfícies dos materiais usados no interior da queijaria estão listados na Tabela 9 e 10 em conformidade com a prEN 12464-1.

**Tabela 9 - Valores de refletância da luz (LRV) para a superfície dos materiais internos no cenário 1 e 2.**

Superfície	Material	Cor	Acabamento	$LRV_i$ %	$LRV_o$ %	$LRV_n$
Rés do chão	Azulejo cerâmico	Cinzento	Fosco	26.0		
Piso superior	Aço inoxidável		Escovado	58.0*	26.0	✓
Paredes	Painel de madeira		Fosco	50.0	49.3	✓
	Azulejo cerâmico	Branco	Liso	79.0**		
Teto	Painel de madeira		Fosco	50.0	50.0	✗



**Tabela 10 - Valores de refletância da luz (LRV) para a superfície dos materiais internos no cenário 3.**

Superfície	Material	Cor	Acabamento	LRV <sub>i</sub> %	LRV <sub>o</sub> %	LRV <sub>n</sub>
Rés do chão	Azulejo cerâmico	Cinzentos	Fosco	26.0	26.0	✓
Piso superior	Aço inoxidável		Escovado	58.0*		
Paredes	Gesso cartonado	Branco	Fosco	88.0	76.8	✓
	Azulejo cerâmico	Branco	Liso	79.0**		
Teto	Gesso cartonado	Branco	Fosco	88.0	88.0	✓

LRV<sub>i</sub>: RLV de entrada.

LRV<sub>o</sub>: Obtido pelo Software.

LRV<sub>n</sub>: Conformidade do RLV com as recomendações prEN 12464-1 sendo verificada como:

✗ Não em conformidade, ✓ Quase conformidade e ✓ Conformidade.

\* LRV para aço inoxidável de Blanco & González-Leal (2019).

\*\* LRV para azulejo de cerâmica do catálogo Cesano Matt (M) em GRESTEC.CO.UK, referência do azulejo YC5311 de LRV: 79

Restantes valores de LRV<sub>i</sub> dados pelo programa DIALux® evo 9.1

#### 4.3.6. Propriedades dos vidros

O sistema de envidraçado é composto por uma moldura de aço Corten® e um vidro duplo com revestimento de baixa emissividade. A estrutura de aço permite a redução da largura da moldura e ao mesmo tempo garante a sua resistência estrutural. A caracterização das soluções de envidraçados adotadas são mostradas na Tabela 11.

**Tabela 11 - Caracterização dos envidraçados para as aberturas da fachada indicadas nas plantas.**

Abertura	Orientação	Área m <sup>2</sup>	Área de vidro m <sup>2</sup>	Vidros*	g*	T*	U <sub>g</sub> * W/m <sup>2</sup> .K
Porta (P1)	SE	1,80	0	Vidro duplo com revestimento de baixa emissividade (4mm flutuante + 16mm espaço + 4mm flutuante)	0.59	0.80	1.20
Porta (P2)	NO	1,80	1,36				
Janela (J1)	NO	5,67	5,19				
Janela (J2)	NE	3,60	3,21				
Janela (J3)	NE	0,33	0,27				

\* De EN ISO 25022-1: 2017 (Comité Européen de Normalisation, 2017) e base de dados DIALux®

#### 4.3.7. Cenários parametrizados e resultados obtidos

Três cenários foram comparados para a proposta arquitetônica:

-Cenário 1: aberturas nas fachadas reconstruídas Nordeste e Noroeste, sem o ducto de luz (Figura 70);

-Cenário 2: aberturas nas fachadas reconstruídas Nordeste e Noroeste com ducto de luz na cobertura reconstruída (Figura 71);

-Cenário 3: aberturas nas fachadas reconstruídas Nordeste e Noroeste com ducto de luz na cobertura reconstruída e com revestimento de gesso cartonado nas paredes e teto do interior da queijaria (Figura 72).

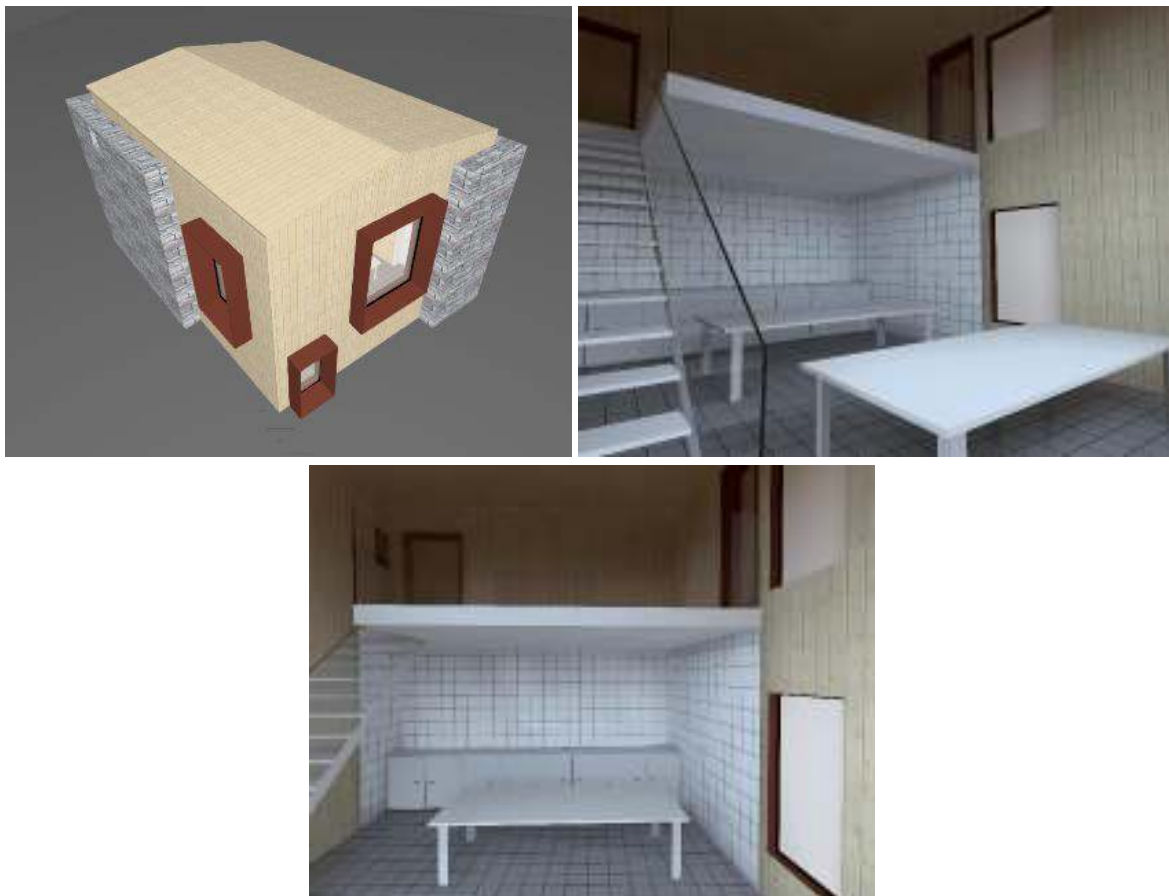


Fig. 70 - Cenário 1: vistas do interior e exterior reconstruído.

Para verificar a possível melhoria da luz natural no interior do edifício ao nível do solo sem interferir na fachada Sudeste existente, foi proposto um segundo cenário que acrescenta um ducto de luz na cobertura reconstruída (Figura 71).

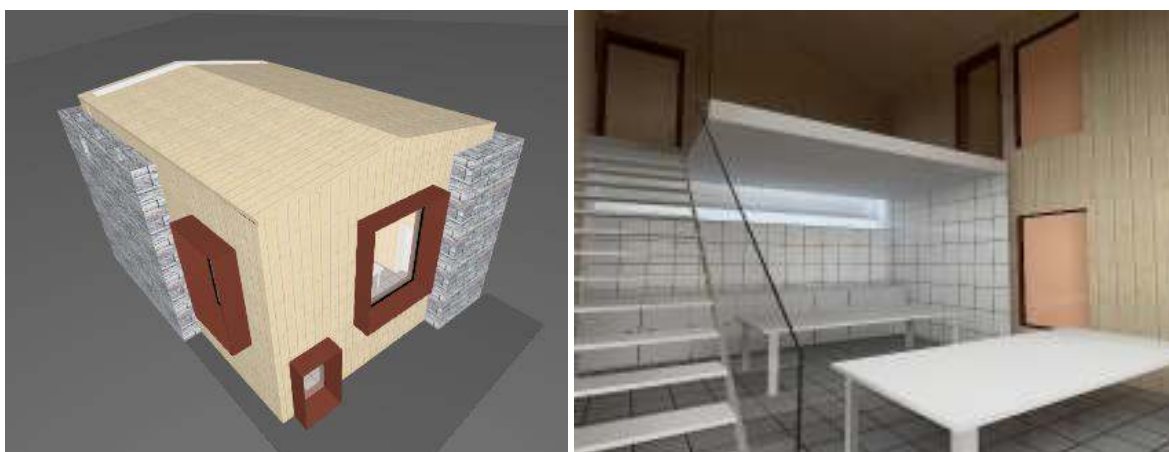




Fig. 71 - Cenário 2: vistas do interior e exterior reconstruído com ducto de luz.

Na cobertura o ducto de luz é constituído por um vidro temperado laminado transparente, de 0,46m por 5,20m. O fundo do ducto de luz foi fechado por um vidro simples transparente de 0,70m por 5,30m no piso térreo. Para que a luz chegue ao piso térreo, a superfície interna foi revestida com uma placa lisa de alumínio, um material durável, de baixa manutenção, e altamente reflexivo para maximizar a reflexão do fluxo de luz incidente dentro dele.

A reflexão da luz no alumínio liso ocorre de forma especular, o que significa que o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência. O índice reflexivo ( $R\lambda$ ) do alumínio polido é igual a 0.87 (Cardarelli, 2018: 255), o que significa que está próximo do máximo de reflexão da luz visível. Além disso, o alumínio apresenta a mesma refletividade para todos os comprimentos de onda do espectro visível (Kitsinelis, 2011: 7) e é altamente resistente à corrosão, o que aumenta sua durabilidade e diminui os custos de manutenção.

Uma solução adicional para ainda melhorar o valor da iluminância média, é revestir as superfícies de madeira interior com gesso cartonado branco, na expectativa de melhorar a execução de tarefas sem prejudicar o conforto visual no interior da queijaria (Figura 72).

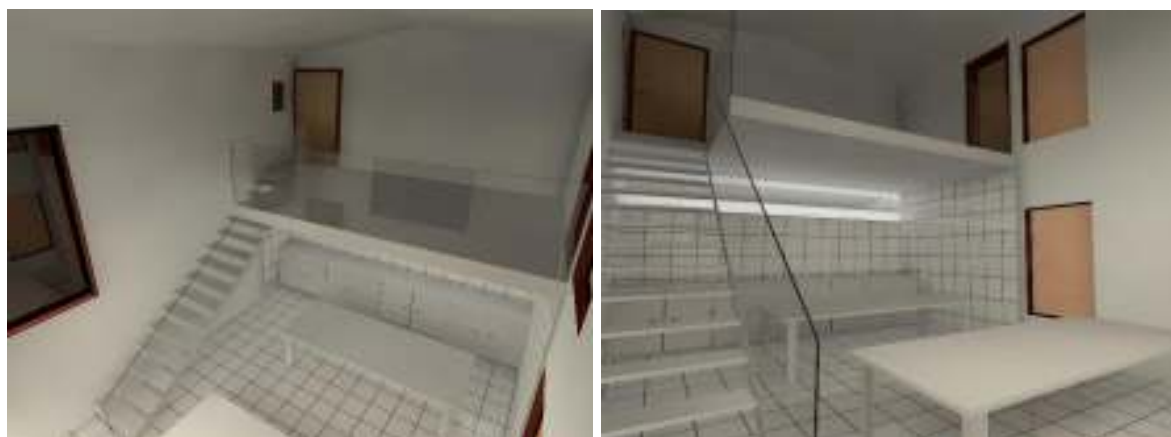




Fig. 72 - Cenário 3: vistas do interior reconstruído com ducto de luz e revestimento de gesso cartonado branco nas paredes e teto.

#### 4.3.8. Resultados obtidos

Os resultados obtidos para cada cenário foram calculados conforme o plano de trabalho de referência, considerado a 1,00 m de altura de acordo com a grelha do sistema da seguinte forma: Iluminações nos pontos da grelha; Mapas de iluminação; Iluminações mínimas, médias e máximas na sala; Fatores de luz do dia nos pontos da grelha; Mapas de fator de luz do dia; e fatores de luz natural na sala.

A conformidade dos resultados obtidos para iluminância média ( $\bar{E}$ ) e uniformidade geral de iluminância ( $U_o$ ) no posto de trabalho conforme exigido pela prEN 12464-1 foi observada e verificada como se segue:



✗ Não em conformidade

✓ Quase em conformidade

✓ Conformidade.

Visão geral dos resultados para o Cenário 1: aberturas nas fachadas reconstruídas Nordeste e Noroeste.

Os dados obtidos para o Cenário 1 estão resumidos na Tabela 12.

**Tabela 12 - Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 1.**

Dia e hora	Iluminância (E) lx				Uniformidade geral*	Fator luz dia (DF) %		
	$\bar{E}$	$cf$	$E_{min}$	$E_{max}$		$DF$	$DF_{min}$	$DF_{max}$
Solstício de inverno								
8:00	12.2	✗	2.0	38.3	0.17 ✓	2.772	1.034	6.286
12:00	224.0	✗	37.6	705.0				
17:00	14.7	✗	2.4	46.1				
Solstício de verão								
8:00	260.0	✓	43.5	817.0	0.17 ✓	2.772	1.034	6.286
12:00	476.0	✓	79.8	1498.0				
17:00	273.0	✓	45.7	857.0				

\*A uniformidade de iluminação deve ser  $U_o \geq 0,10$  para luz natural (Comité Européen de Normalisation, 2019: 13).

cf: Conformidade de iluminação no posto de trabalho conforme exigido pela prEN 12464-1.

Visão geral dos resultados para o Cenário 2: aberturas nas fachadas reconstruídas Nordeste e Noroeste com ducto de luz.

Os dados obtidos para o Cenário 2 estão resumidos na Tabela 13.

**Tabela 13 - Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 2**

Dia e hora	Iluminância (E) lx				Uniformidade geral*	Fator luz dia (DF) %		
	$\bar{E}$	cf	$E_{min}$	$E_{max}$		DF	$DF_{min}$	$DF_{max}$
Solstício de inverno								
8:00	13.7	✗	2.0	38.9	0.15 ✓	2.977	1.563	6.295
12:00	252.0	✓	36.8	716.0				
17:00	16.4	✗	2.4	46.8				
Solstício de verão								
8:00	291.0	✓	45.0	829.0	0.15 ✓	2.977	1.563	6.295
12:00	534.0	✓	36.8	1519.0				
17:00	306.0	✓	48.8	870.0				

\*A uniformidade de iluminação deve ser  $U_o \geq 0,10$  para luz natural (Comité Européen de Normalisation, 2019: 13).

cf: Conformidade de iluminação no posto de trabalho conforme exigido pela prEN 12464-1.

Visão geral dos resultados para o Cenário 3: aberturas nas fachadas reconstruídas Nordeste e Noroeste com ducto de luz e com revestimento de gesso cartonado nas paredes e teto do interior da queijaria.

Os dados obtidos para o Cenário 3 estão resumidos na Tabela 14.

Tabela 14 - Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 3

Dia e hora	Iluminância (E) lx				Uniformidade geral*	Fator luz dia (DF) %		
	$\bar{E}$	$cf$	$E_{min}$	$E_{max}$		$DF$	$DF_{min}$	$DF_{max}$
Solstício de inverno								
8:00	18.2	✗	2.3	41.9	0.13 ✓	3.783	2.316	7.160
12:00	335.0	✓	43.0	771.0				
17:00	21.9	✗	2.8	50.4				
Solstício de verão								
8:00	388.0	✓	49.8	893.0	0.13 ✓	3.783	2.316	7.160
12:00	771.0	✗	91.3	1638.0				
17:00	407.0	✓	52.2	937.0				

\* A uniformidade de iluminação deve ser  $U_o \geq 0,10$  para luz natural (Comité Européen de Normalisation, 2019: 13)

cf: Conformidade de iluminação no posto de trabalho conforme exigido pela prEN 12464-1.

#### 4.3.9. Discussão dos resultados

Os resultados para o primeiro cenário mostram que, devido à insuficiência de iluminação foram criadas sombras no interior do edifício, principalmente no piso térreo abaixo do nível intermédio, uma vez que a iluminância interna não tem contribuição significativa da iluminância proveniente do céu visível direto. Os resultados da iluminância interna consistem principalmente na iluminância devido aos reflexos no ambiente externo (EER) e na iluminância devido aos reflexos nas superfícies internas (EIR).

Comparando os mapas de iluminância e renderizações de iluminância 3D (figura 73 à figura 76) para Solstício de Inverno e Solstício de Verão ao 12:00h, fica claro que a adição do ducto de luz no Cenário 2, permite melhorar o desempenho geral dos valores de iluminância obtidos no plano de trabalho, devido ao céu visível direto que atinge o piso térreo por reflexão no interior do ducto de luz, assim como o Cenário 3 onde o revestimento em gesso cartonado branco no seu interior permite uma melhoria acentuada, pois as superfícies de cores claras tem maior capacidade de refletância da luz.

Também é possível verificar que os valores de iluminância nos pontos da grelha dentro do posto de trabalho variam entre a faixa de 300 a 500 lux, conforme solicitado pela prEN 12464-1 para esta atividade.



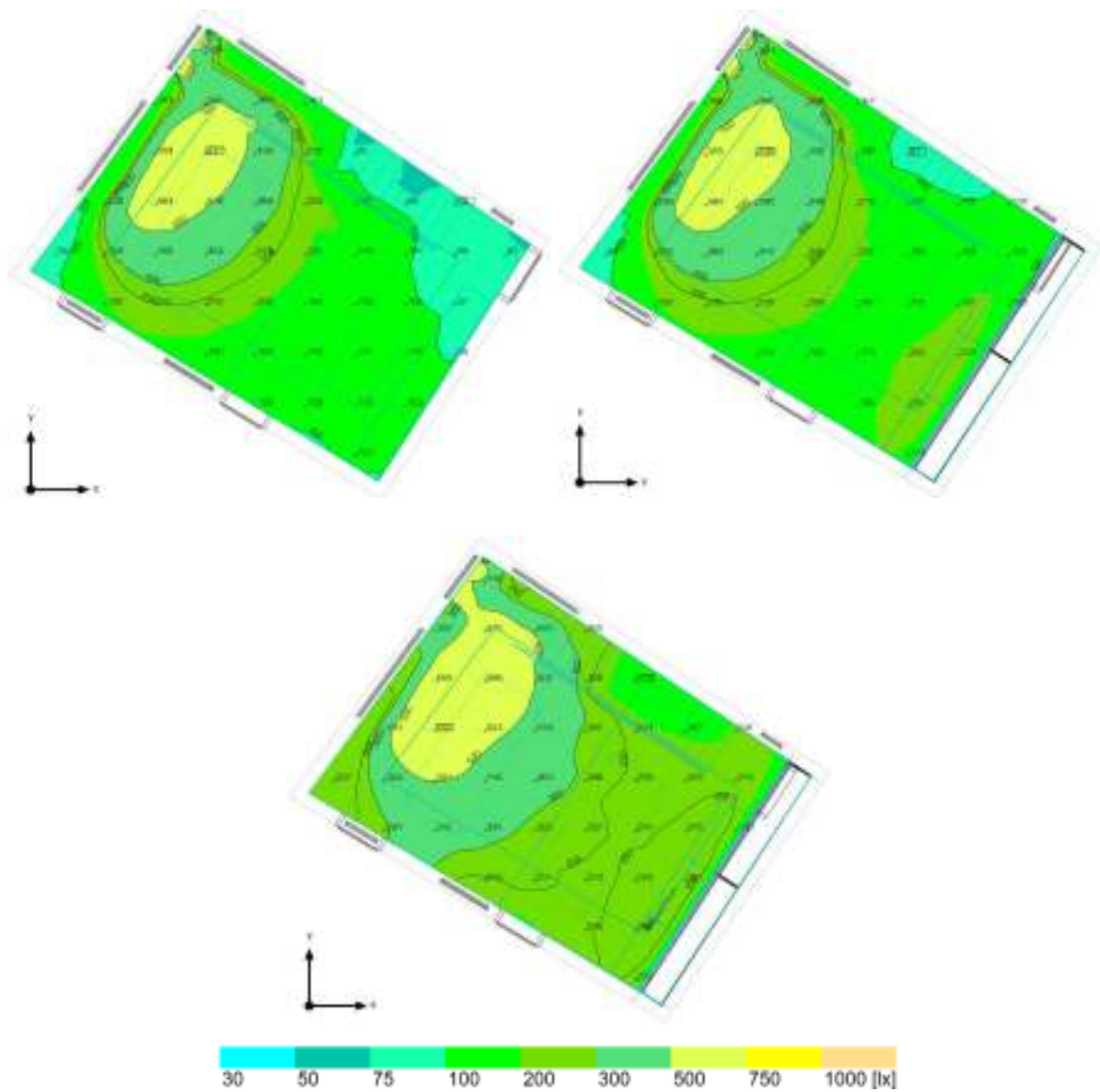
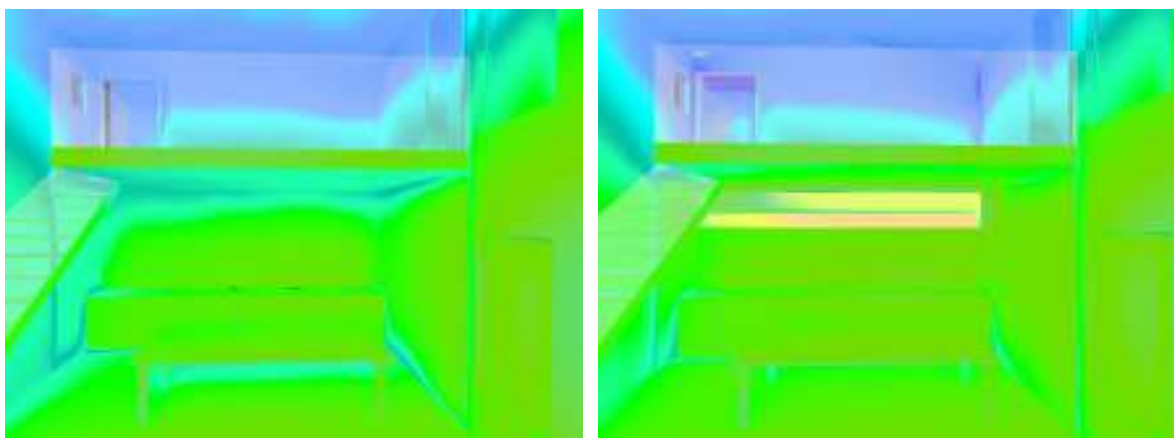


Fig. 73 - Mapas de iluminância para o Solstício de Inverno no plano de trabalho às 12:00h para os Cenários 1, 2 e 3 respectivamente.



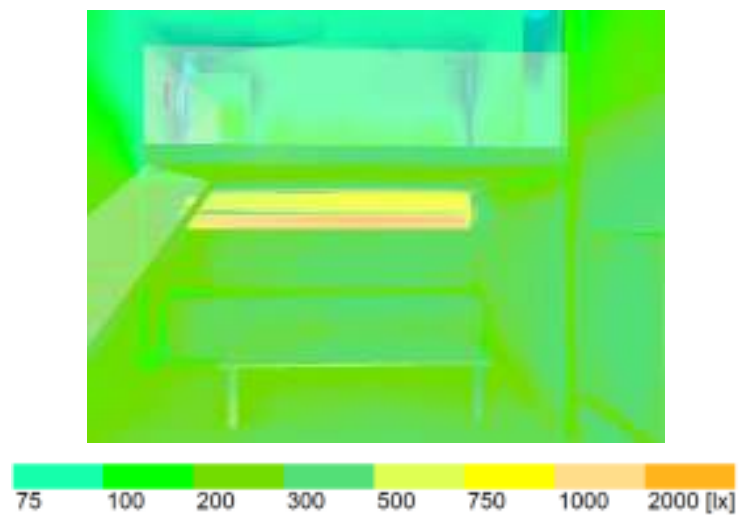


Fig. 74 - Renderizações 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 12:00h para os cenários 1, 2 e 3 respectivamente.

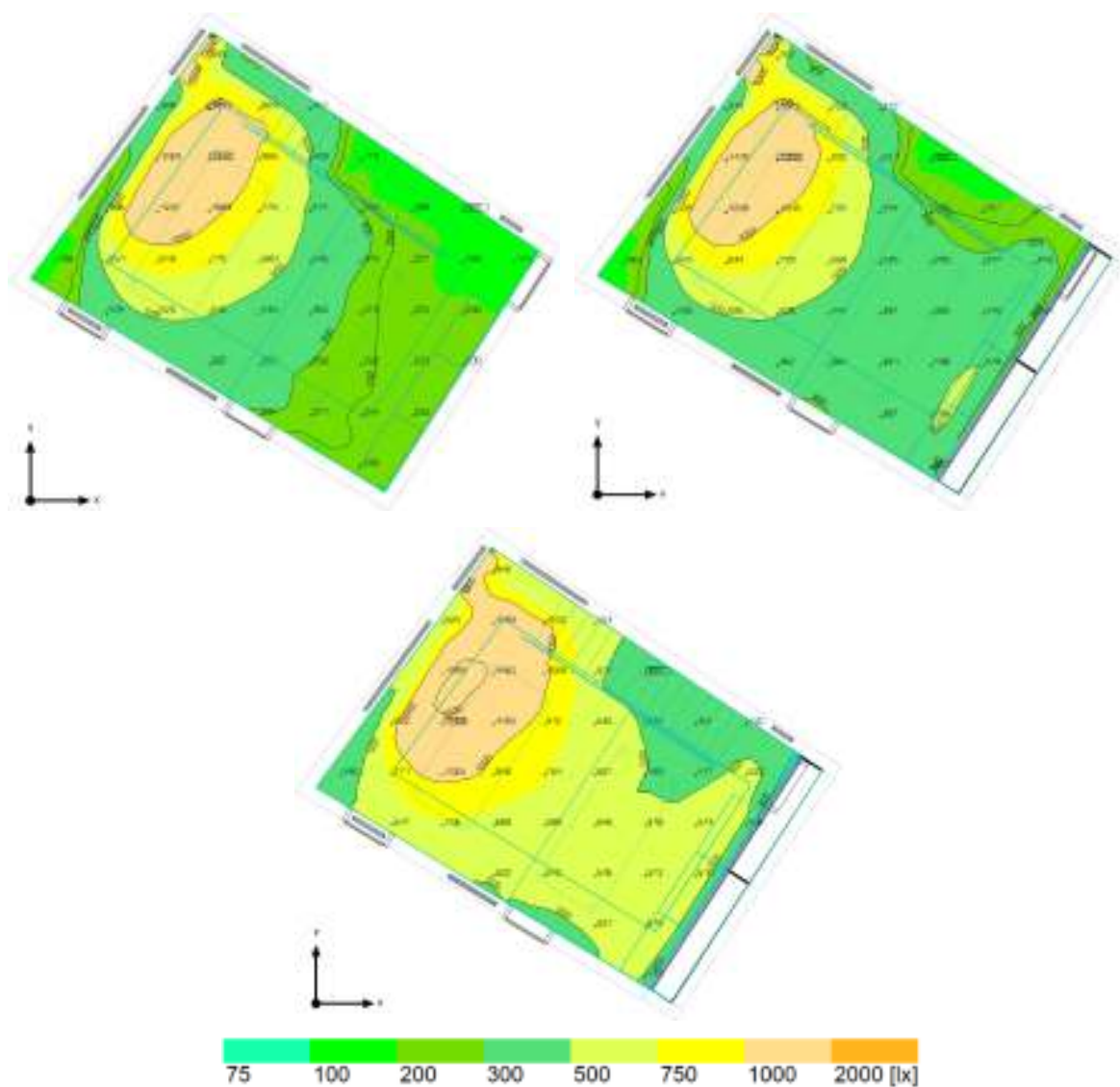


Fig. 75 - Mapas de iluminâncias para o Solstício de Verão no plano de trabalho às 12:00h para os Cenários 1, 2 e 3 respectivamente.



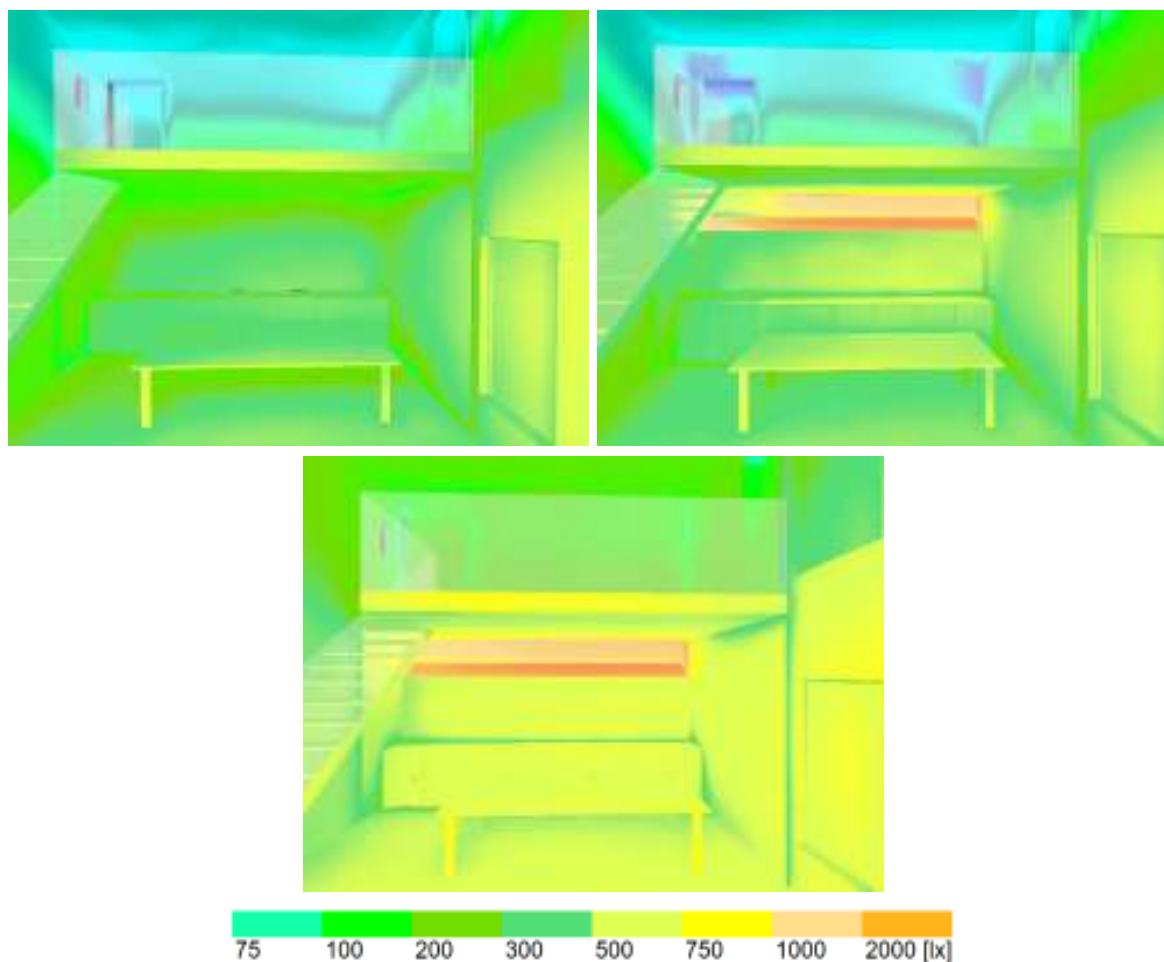


Fig. 76 - Renderizações 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 12:00h para os cenários 1, 2 e 3 respetivamente.

Para melhor compreensão da melhoria da iluminação e do fator luz- dia para os três cenários, segue a seguinte tabela 15.

**Tabela 15 - Percentagem de melhoria para iluminação ( $E$ ) e fator de luz do dia ( $DF$ ) na primeira coluna entre o cenário 1 e o cenário 2, na segunda coluna entre o cenário 1 e o cenário 3.**

Dia e hora	Iluminância ( $E$ )						Uniformidade geral		Fator luz dia ( $DF$ )					
	$\bar{E}$	$E_{min}$		$E_{max}$		$U_o$	$DF$	$DF_{min}$		$DF_{max}$				
Solstício de inverno														
8:00	12.3	49.18	0	15	1.6	9.40	-11.8	-23.53	7.4	36.47	51.2	123.98	0.1	13.90
12:00	12.5	49.55	-2.1	14.36	1.6	9.36								
17:00	11.6	48.98	0	16.67	1.5	9.33								
Solstício de verão														
8:00	11.9	49.23	-2.1	14.48	1.5	9.30								
12:00	12.2	61.97	-2.1	14.41	1.4	9.35								
17:00	12.1	49.08	-2.2	14.22	1.5	9.33								

Os valores negativos 11.8% e 23.53% na Uniformidade de Iluminação Global ( $U_o$ ) da luz natural ocorre devido à diferença de iluminância entre o andar térreo e o andar intermédio

superior, já que o andar térreo se tornou mais iluminado no cenário 2 e 3 do que no cenário 1.

Com o melhor aproveitamento da luz natural permitiu melhorar a Iluminância Média ( $\bar{E}$ ) entre 11.6% e 12.5% para o segundo cenário em relação ao primeiro e entre 48.98% e 61.97% no terceiro cenário em relação ao primeiro.

A melhoria geral da iluminância média ( $\bar{E}$ ) para o cenário 1, 2 e 3 durante o horário de trabalho é mostrado na figura 77 seguinte.

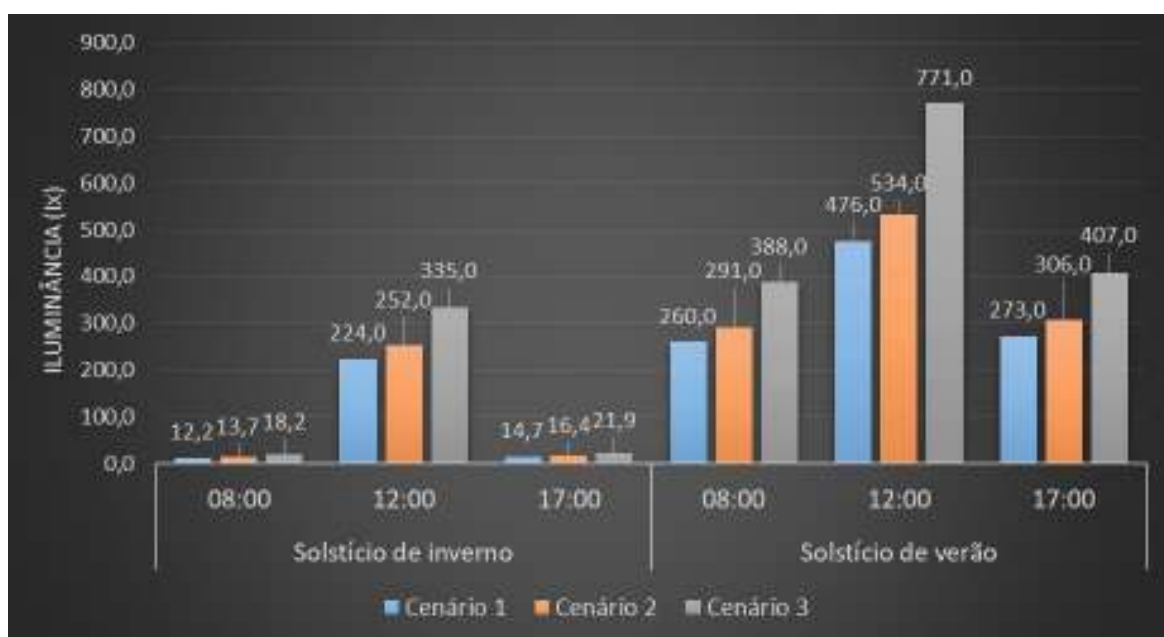


Figura 77 - Gráfico da comparação entre a iluminação média ( $\bar{E}$ ) para os cenários 1, 2 e 3 nos solstícios de inverno e verão.

Apesar de haver uma melhoria constante entre os cenários 1, 2 e 3, a introdução do revestimento de gesso cartonado branco nas paredes e teto do interior da queijaria no cenário 3, revela uma exceção aos limites recomendados pela norma prEN 12464-1 para esta atividade.

O valor de iluminância média no cenário 3 às 12:00h do solstício de verão corresponde a 771,0 lux, um valor muito superior ao máximo recomendado de 500 lux, o que poderá provocar desconforto visual aos seus utilizadores, como fadiga visual, dores de cabeça, entre outros já referidas nos capítulos anteriores, assim como sobreaquecimento do edifício. Como tal, será aconselhado a implementação de sistemas de sombreamento no verão às 12:00h, como por exemplo persianas para controlar a entrada de luz natural no interior da queijaria artesanal. Optou-se por colocar o sistema sobre a janela orientada a Nordeste, por ser a que

está diretamente ligada ao plano de trabalho (ver figura 78). Este sistema de sombreamento é ajustável aos dias de maior incidência de luz solar, ainda que difusa.



Fig. 78 - Cenário 3 com sistema de sombreamento.

Como se pode verificar na tabela 16 o resultado dos valores de iluminância média para as 12:00h no Solstício de verão baixou para 471.0 lux depois de introduzir o sistema de sombreamento interior, encontram-se assim entre os valores recomendados de 300 lux a 500 lux.

Tabela 16 - Resumo dos novos resultados obtidos para o Cenário 3

Dia e hora	Iluminância (E) lx				Uniformidade geral*	Fator luz dia (DF) %		
	$\bar{E}$	cf	$E_{min}$	$E_{max}$		DF	$DF_{min}$	$DF_{max}$
Solstício de inverno								
8:00	18.2	✗	2.3	41.9	0.13 ✓	3.783	2.316	7.160
12:00	335.0	✓	43.0	771.0				
17:00	21.9	✗	2.8	50.4				
Solstício de verão								
8:00	388.0	✓	49.8	893.0	0.13 ✓	3.783	2.316	7.160
12:00	471.0	✓	60.5	1600.0				
17:00	407.0	✓	52.2	937.0				

Dos dados obtidos, conclui-se que o cenário 3 com a inclusão do sistema de sombreamento interior é o que melhor corresponde aos requisitos de conforto visual, porque é o cenário que apresenta os melhores resultados em conformidade com a faixa de iluminâncias médias exigidas para as estações de trabalho, conforme declarado na prEN 12464-1 (Comité Européen de Normalisation, 2019). O edifício corresponde assim às condicionantes do lugar e aos requisitos funcionais.



## CONCLUSÕES

O programa de simulação de iluminação DIALux® evo 9.1 demonstra ser um auxílio relevante para o desenvolvimento do projeto de restauro, no que se refere ao objetivo de reduzir as necessidades de energia da luz artificial, melhorando a quantidade de luz natural que incide nas superfícies internas. A maneira fácil de como o edifício é modelado e como os resultados produzidos são calculados e retornados (por exemplo, tabelas de dados, mapas de fator de luz-dia, mapas de iluminâncias e renderizações 3D) permite uma verificação rápida da conformidade com os requisitos dos padrões. As alterações de parâmetros e procedimentos de cálculos são feitos em tempo real, o que permite testar várias soluções nomeadamente na mudança de materiais de superfície, no ajuste dos seus valores de reflexão da luz e ofuscamento, facilitando a tomada de decisão. Neste estudo, o DIALux® evo 9.1 foi testado apenas para verificar a luz natural atingindo um plano de trabalho, que é uma pequena parte da capacidade deste programa, gerar cenários de iluminação natural e artificial para espaços exteriores e interiores.

Com a aplicação deste programa, foi possível melhorar significativamente a luz natural dentro do edifício, trazendo um pouco de modernidade aplicado agora às novas necessidades, tornando-o mais eficiente sem romper com a memória e identidade do local e sempre em respeito com os materiais existentes. Tendo em conta a orientação do edifício, a dimensão e localização dos vãos existentes que não deveriam ser alterado, mais as condições climáticas que se fazem sentir no local, razão pela qual as janelas são de pequenas dimensões, consegue-se abrir grandes vãos todos orientados a Norte, adquirindo assim uma luz difusa, constante e uniforme que é a mais desejada para trabalhar. Demonstrando que quando não há hipótese de adquirir luz natural suficiente, é possível contornar a situação com a implementação de novos materiais e tecnologias no edifício, como elementos condutores da luz natural, diminuindo assim a luz artificial e os custos energéticos.

A luz natural deve ser entendida como algo essencial à vida. Hoje em dia ainda há arquitetos que não dão a devida importância ao tema da luz natural no processo de desenvolvimento de um projeto. O objetivo deste tema é levar esta preocupação mais longe e a todos que nela estão envolvidos, fazer perceber que é fundamental integrar a luz natural como se de um material construtivo se tratasse, de influência nas decisões projetuais. A luz dá pistas essenciais para a evolução de um projeto, o conhecimento e compreensão da luz natural em cada local é fundamental para a otimização do edifício. A quantidade e qualidade disponível

de luz varia de local para local consoante o clima, a latitude, o percurso do sol e das condições morfológicas da envolvente, é necessário considerar a luz natural nas suas diversas formas, quer lateral ou zenital como resposta às exigências do local e da função. A luz condiciona a forma como habitamos e trabalhamos e se não for abordada corretamente pode trazer graves problemas. A arquitetura permite manipular a luz natural, regular a sua intensidade, a forma como incide no interior e a sua direção, com o objetivo de reduzir significativamente o consumo de energia no edifício e obter um equilíbrio sustentável. Por isso é de extrema importância conhecer os materiais que impedem ou facilitam a entrada da luz, que auxiliam na dispersão ou concentração da luz consoante a função pretendida.

Toda a informação recolhida serve para justificar e fundamentar o estudo proposto. A aplicação deste tema no caso de estudo demonstra a vantagem da aplicação da luz natural na arquitetura bem como a sua importância na valorização e sustentabilidade do património cultural e arquitetónico, nomeadamente na arquitetura vernacular, neste caso a Aldeia do Catarredor. Ainda há aldeias a “desaparecer” aos poucos que poderiam ser aproveitadas em benefício da sociedade e dos próprios habitantes, ainda que poucos.

Este é um tema que já nos era bastante patente desde o início do curso e estudá-lo despertava muita curiosidade, agora, fica a ânsia de pôr em prática todos estes conhecimentos na vida real, proporcionar espaços em harmonia com a estabilidade emocional, física e psicológica das pessoas é um objetivo para um futuro profissional. Este trabalho pretende incentivar novos projetos, futuros trabalhos de investigação e consciencializar para a importância da luz natural na arquitetura e para a reabilitação da arquitetura vernacular, há uma infinita possibilidade de novas soluções aplicado às recentes tecnologias. A luz natural é um tema muito abrangente, por isso deixa-se de parte a abordagem de soluções de iluminação artificial que seriam necessárias para melhorar o desempenho visual nos dias de menor luminância. Assim como a luz natural também a artificial se encontra em constante evolução e também ela interfere com a saúde dos seus utilizadores, para tal uma outra proposta para futuros trabalhos é quantificar os gastos energéticos ao longo do ano para cada cenário, apresentando soluções para a luz artificial. Calcular o desempenho térmico associado às entradas da luz natural no edifício seria outra proposta.

## **WEBGRAFIA**

ADXTUR (Agência para o Desenvolvimento Turístico das Aldeias do Xisto). [Em linha]  
Disponível em: <https://aldeiasdoxisto.pt/entidade/706>  
[acedido em 28 de Dezembro de 2019]

Weather Spark, Clima característico em Lousã Portugal durante o ano. [Em linha]  
Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/32313/clima-caracter%c3%adstico-em-lous%c3%a3-portugal-durante-o-ano>  
[acedido em 3 de Dezembro de 2019]

Escola da elétrica, O que é e como usar Dialux Evo para fazer um Projeto Luminotécnico.  
[Em linha] Disponível em: <https://escoladaelettrica.com/como-usar-dialux/>  
[acedido em 5 de Janeiro de 2021]

## **BIBLIOGRAFIA**

Alves, F.L. (2008). Medidas de Eficiência Energética na Iluminação Integrando Luz Natural. Dissertação de Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (Área de especialização de Energia). Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Baker, N., Fanchiotti, A., & Steemers, Koen (1993). Daylighting in Architecture: A European Reference Book. Londres: James and James Editors.

Bastian, Z., Grove-Smith, J. & Krick, B. (2015). Building physics. In A. Troi & Z. Bastian (eds.). Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings - A Handbook. Basel: Birkhauser Verlag. 14-26.

Bell, J. & Burt, W. (1995). Designing Buildings for Daylight. UK: CRC Press.

Blanco, E. & González-Leal, J. M. (2019). Optical characterization of the surface of stainless steels for building lining. Acero Inoxidable [Em linha]. 85, pág. 28-30. Disponível em <http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/24.Optical-characterization-of-the-surface-of-stainlesssteels-intended-for-building-lining.pdf> [Acedido em 25 Setembro de 2020].

Brown, G.Z. & Dekay, M. (2004) Sol, Vento e Luz: Estratégias para o Projeto de Arquitetura. Trad. Salvaterra A.F.S. 2ª edição. Rio de Janeiro: Bookman.

Cardarelli, F. (2018). Materials Handbook - A Concise Desktop Reference. Cham: Springer.

Comité Européen de Normalisation (2011). EN 410:2011 Glass in building - Determination of luminous and solar characteristics of glazing. Brussels: CEN.

Comité Européen de Normalisation (2017). EN ISO 52022-1:2017 Energy performance of buildings - Thermal, solar and daylight properties of building components and elements - Part 1: Simplified calculation method of the solar and daylight characteristics for solar protection devices combined with glazing. Brussels: CEN.

Comité Européen de Normalisation (2018). EN 12665:2018 Basic terms and criteria for specifying lighting requirements. Brussels: CEN.

Comité Européen de Normalisation (2019). prEN 12464-1 Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places. Brussels: CEN.

Corrodi, M., Spechtenhauser, K. (2008). Illuminating Natural Light in Residential Architecture. London, Basel: Birkhäuser.

DIAL (2016). DIALux evo Manual - A Collection of All Wiki Articles.

Dias, J. (1983). Vilarinho das Furnas: uma Aldeia Comunitária. Lisboa: Imprensa Nacional da Casa da moeda.

Egan, M. David & Olgyay, Victor W. (2002). Architectural lighting. 2º Edição. Boston, McGraw-Hill.

Ganslandt, R. & Hofman, H. (1992) Handbook of Lighting Design. Berlin: ERCO Edition.



Goulding, J., Lewis, J. & Steemers, T., (1992) Energy Conscious Design: A Primer for Architects. London: Published for the Commission of the European Communities by B.T. Batsford.

International Energy Agency (2000). Daylight in buildings. A source book on daylighting systems and components. Washington DC: IEA.

International Organization for Standardization (2017). ISO 52022-1:2017 Energy performance of buildings - Thermal, solar and daylight properties of building components and elements - Part 1: Simplified calculation method of the solar and daylight characteristics for solar protection devices combined with glazing. Geneva: International Organization for Standardization.

Kitsinelis, S. (2011). Light Sources Technologies and Applications. Boca Raton (FL): CRC Press.

Ribeiro, V. (2008). Materiais, Sistemas e Técnicas de Construção Tradicional. Contributo para o estudo da Arquitectura Vernácula da região Oriental da Serra do Caldeirão. Porto: Edições afrontamento.

Rodrigues, P. (2002). Manual de Iluminação Eficiente. Rio de Janeiro: PROCEL, 2002

Schittich, C., Staib, G., Balkow, D., Schuler, M. & Sobek, W. (2007). Glass Construction Manual. Basel: Birkhauser.

Skowranek, R. (2017). Basics building services - Lighting Design. Basel: Birkhauser.

Society of Light and Lighting (2009). The SLL Lighting Handbook. London: CIBSE.

Tregenza, P. & Wilson, M. (2011). Daylighting Architecture and Lighting Design. London: Routledge.

Vianna, N. S. & Gonçalves, J. C. (2001). Iluminação e Arquitetura. São Paulo: Geros.



## Anexos

### Anexo 1

O seguinte anexo corresponde ao artigo científico publicado em Outubro de 2020 durante o desenvolvimento desta dissertação.

O artigo encontra-se publicado em: Amoêda, R., Lira, S., Pinheiro, C. HERITAGE 2020 - Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Heritage and Sustainable Development. Barcelos: Green Lines Instituto.



## Daylighting simulation on restoration projects of vernacular architecture: an application of DIALux® evo 9.1

R. Amoêda<sup>1,2</sup> & S. Carneiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University Lusíada-North - School of Architecture and Arts, Portugal

<sup>2</sup> University Lusíada - Center for Research in Territory, Architecture, and Design (CITAD), Portugal

**ABSTRACT:** Adapting vernacular buildings to modern comfort requirements demands an integrated approach between the strategies of conservation and the way how comfort targets and energy efficiency shall be achieved. A careful reading of vernacular architecture is an essential step to improve comfort and energy efficiency by means of increasing the natural light component without compromising the conservation and authenticity of these kind of buildings. The use of lighting simulation tools is a way to assess and improve restoration projects on a pursuit to reduce demand of electricity and to keep visual comfort, without compromising the overall restoration principles. In this study, a rehabilitation of an ancient dwelling partially destroyed to an artisanal cheese making, the use of the software DIALux® evo 9.1 for architectural lighting simulation allowed to assess the contribution of the new apertures on the rebuilt façades for the flux of natural light reaching the interior space. Since keeping the original apertures on the non-ruined façades was an architectural decision, a second architectural solution adding a light well on the rebuilt roof was evaluated to improve the Illuminance ( $E$ ) values reached on the initial solution. Without changing the existing façades, the second scenario has shown an improvement of around 12 % on the Average Illuminance ( $\bar{E}$ ) indicators and 7.4 % on the Daylight Factor ( $DF$ ). Further, the output data also has shown that, in the Summer, the addition of the light well allowed to reach the reference values for Minimum Average Illuminance ( $\bar{E}_{m,r}$ ) on the working station as required by prEN 12464-1 without needing to add any artificial lighting.

**KEYWORDS:** Vernacular Architecture, Daylighting, Energy Efficiency, Simulation Analysis, DIALux®

### 1. INTRODUCTION

Energy efficiency is one of the main goals of new buildings' design, combining passive solutions with more efficient mechanical systems, reducing operational energy needs, thus reducing operational electricity costs.

However, when refurbishing a historic building the challenge is quite more complex, as cultural and architectural significance must be considered in restoration projects as pointed by ICOMOS (2000). Depending on the type of intervention (e.g. renovation and rehabilitation) and on the use, it could be an opportunity to improve or achieve energy efficiency. On cases of new uses, the lighting needs probably will increase which requires a decision on adding new apertures or relying on artificial lighting systems. Thus, it becomes important the role of lighting simulation tools assisting architectural decisions, allowing to verify their conformity with the requirements for visual comfort and energy demands. This study is part of an ongoing research project on sustainable conservation of vernacular architecture.

✉ R. Amoêda: rogerio.amoeda@fam.ulusiada.pt

✉ S. Carneiro: sofia97carneiro@gmail.com

© Green Lines Institute for Sustainable Development 2020

R. Amoêda, S. Lira and C. Pinheiro (eds.): *HERITAGE 2020*

*Proceedings of the 7th International Conference on Heritage and Sustainable Development*, pp. 163 - 176, Green Lines Bookseries on Heritage Studies, Volume 01.

## 2. DAYLIGHTING AND VERNACULAR ARCHITECTURE

According to DeKay and Brown (2014:53) primary determinants of lighting loads on building are climate (e.g. solar radiation), use (e.g. operational characteristics of a building's program and occupants), and design (e.g. form, spatial organization, materials). Therefore, the design of daylight buildings should include the definition of daylight zones (e.g. edges of buildings, upper floors), room organization, daylight room geometry, glare-free rooms and window placement (ibid. 2014:150-151). If on a new building the architect may have control over those parameters, on restoration projects the focus is primarily set on the reading and interpretation of the existing buildings.

However, vernacular architecture is grounded on geographic and climate adaptive typologies as well as on an efficient use of available natural resources. The placing of settlements and shaping of vernacular buildings have been a result of an empiric knowledge of environment behavior. Thus, integration of passive solutions for ventilation, heating, cooling and lighting have been empirically improved on vernacular architecture, generating architectural typologies according to geographic and climate conditions.

Dimension of apertures were not just determined by the occupancy time but also by the availability of glass that was a scarce and costly material for domestic architecture. Therefore, on vernacular architecture daylighting loads are predetermined by existing apertures and increasing such loads may not be easy if new apertures should not be considered as a solution.

### 2.1 *Daylighting and glazing*

The amount of daylight penetrating the interior of a building results of the following: solar orientation of the building; outdoor environmental conditions, such as existence of obstructing elements and surrounding light reflection; number, sizing and position of apertures in façades and roofs such as doors, windows, skylights, etc.; glazing area; glazing performance; and shading systems.

### 2.2 *Apertures*

Glazed apertures are the architectural elements whereby daylight penetrates in the interior through façades and roofs. Traditional apertures are doors, windows, skylights, zenith openings, roof lanterns and glass domes, which allow building's interior spaces to be illuminated using daylight flux on different ways, i.e. by direct incidence and/or reflected incidence.

Innovative daylighting systems include interaction of light with mirrored surfaces, refraction of light by means of prismatic glazing, deeper horizontal light reflection by means of light shelves and vertical light reflection by using light pipes which have had the most popular application (Philipps, 2004:33-34).

### 2.3 *Glazing*

Architectural glazing systems are nowadays complex multifunctional units combining glass panes, coatings, cavities, and a medium contained in those cavities (e.g. air, an inert gas like Argon or Krypton). Properties of available types of glasses in construction can respond to a large broad of requirements such as solar protection, thermal insulation, noise reduction, wind pressure, fire prevention, safety, blast resistance and self-cleanness.

Clear glass transparency provides a clear view across it, so clear glass has a very high energy transmission and light transmittance when exposed to sun light. Light transmittance ( $T$ ) is defined by the ratio of the incident light flux (i.e. illuminance) reaching the interior ( $E_i$ ) to the outdoor incident light flux ( $E_o$ ) which can be also expressed as a percentage and calculated by using the following formula:

$$T = \frac{E_i}{E_o} \text{ or } T = \frac{E_i}{E_o} * 100$$

Thermal conductivity of the glass unit ( $U_g$ ) is defined by the formula:

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{e_i}{\lambda_i} \right) + R_{si}}$$

Where:

$R_{se}$  is the external surface thermal resistance ( $1/he$ ) according to the standard by climatic zone, which equals to 0.04 ( $m^2.K/W$ );

$R_{si}$  is the internal surface thermal resistance ( $1/h_i$ ) according to the standard by climatic zone, which equals to 0.13 ( $m^2.K/W$ );

$e_i$  is the thickness of the material layer  $i$  and  $\lambda_i$  is the thermal conductivity of the material layer  $i$ .

In Table 1, a comparison between thermal conductivity ( $U_g$ ) and light transmittance ( $T$ ) for single glasses shows that the amount of visible light reaching the interior decreases with the increase of the glass thickness, in spite of the decrease of  $U_g$  values.

Table 1. Visible light transmittance ( $T$ ) and calculated thermal conductivity ( $U_g$ ) for different single glass thicknesses

Glass thickness mm	$T^*$	$U_g$ W/( $m^2.K$ )**
3	0.88	5.77
4	0.87	5.70
5	0.86	5.70
6	0.85	5.67
8	0.83	5.60
10	0.81	5.53
12	0.79	5.47
15	0.76	5.38
19	0.72	5.26
25	0.67	5.08

\* According to Schittich et al. (2007:61).

\*\* For  $U_g$  calculations, thermal conductivity ( $\lambda$ ) of float glass (soda lime glass) was considered to be 0.937 W/( $m.K$ ) according to Cardarelli (2018:65) and surface exchange coefficients considered to be  $he = 23$  W/( $m^2.K$ ) and  $hi = 8$  W/( $m^2.K$ ) in accordance with EN 410:2011 (Comité Européen de Normalisation, 2011).

Thus, glazing shall be the first parameter to be considered to improve energy efficiency and comfort in existing buildings by replacing old windows with a single glass pane by new windows with high performance glazing systems (Bastian et al. 2015:25), though such solutions may reduce transmission of visual light. Therefore, glazing solutions reducing thermal conductivity must keep luminous transmission by combining antireflection coatings allowing visible light to get through.

Performance for reference glazing used for comparison is established in the standard EN ISO 52022-1:2017 (International Organization for Standardization, 2017) as shown in Table 2.

Table 2. Thermal and optical properties for reference standard glazing in EN ISO 52022-1:2017

Glazing	$g$	$T$	$U_g$ W/( $m^2.K$ )
Clear Single Glazing	0.85	0.90	5.80
Clear Double Glazing	0.75	0.82	2.90
Double Glazing with Low E Coating	0.59	0.80	1.20
Solar Control Double Glazing Low E coating	0.32	0.44	1.10
Triple glazing with Low E Coating	0.55	0.73	0.80

$g$  is the Solar Factor (SF) or Solar Heat Gain Coefficient (SHGC).

$T$  is the light transmittance.

$U_g$  is the thermal conductivity of the glazing unit.



However, as showed by Kirk (2015:146-147) improvement of glazing thermal performance on existing buildings results on the increase of glass thickness (e.g. double and triple glazing systems) and weight. However, such solutions need to adapt or change the historic glazing frame design to accommodate such dimensions and weight, which may not be possible without changing the original framing material.

## 2.4 Inner surfaces

A second parameter that should be considered is the light reflectance properties of surface materials. Reflected light from surface materials is the wavelengths of the visible light spectrum that are not absorbed, thus reflected light varies between different surfaces. Light colored surfaces reflect more wavelengths of the visible light spectrum than dark colored surfaces.

However, the way how reflection occurs is, not only but also, a condition of the degree of smoothness of the surface, i.e. texture. Therefore, light reflection may occur basically on three ways (Fig. 1): a) specular reflection, e.g. polished metals, glass and mirrored surfaces; b) diffuse reflection, e.g. rough and matte surfaces; and c) both specular and diffusive, e.g. glossy and mirrored rough surfaces.

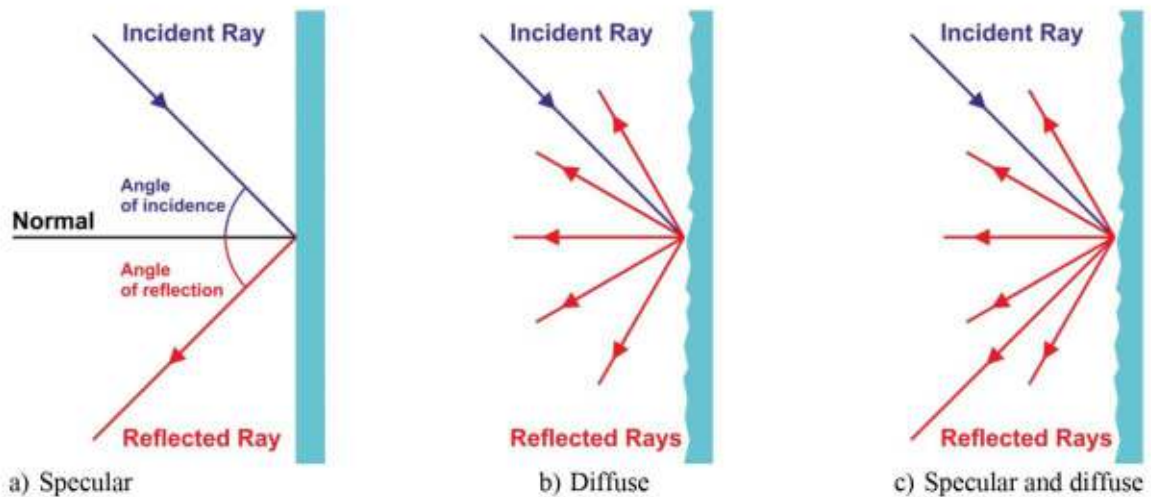


Fig. 1. Light reflection on surfaces

Therefore, the need of artificial lighting may be reduced through an adequate choice of surface materials that increase the interior illuminance values due to high values of natural visible light reflection and to diffuse reflection patterns.

## 3. LIGHTING SIMULATION TOOLS

### 3.1 Overview on lighting simulation tools

Simulation tools in architecture are increasingly used to predict the behavior of buildings during their operational phase. Almost every aspect of construction such as thermal behavior, ventilation, heating, cooling and lighting can be modeled and assessed at the design stage, allowing making corrections and thus maximizing the performance of buildings. These tools have proved to be relevant to reduce energy needs of buildings assisting architects, engineers and designers through the project development.

Computing lighting solutions have shown to be an effective way to assess the balance between day lighting and artificial lighting thus contributing to reduce operating costs. Examples of available tools for lighting simulation are Radiance®, Ecotect® (now included in Autodesk Revit®), EnergyPlus®, and DIALux® evo, among others.



### 3.2 DIALux® Evo 9.1

DIALux® Evo is a free lighting simulation tool developed by the German Institute for Applied Lighting Technology (DIAL) which allows to preview scenarios for artificial and natural lighting on exterior and interior spaces, and to verify their conformity with national and international standards (DIAL, 2016). The most recent version DIALux® Evo 9 was launched in 2020 and an updated version DIALux® Evo 9.1 was released in September 2020. The software preset is highly customizable, and it has a user-friendly interface. The software has a 3D modelling tool to model the site and the building, allowing to add construction elements (e.g. structural elements, floors, walls, roofs, apertures) and assign surface materials from the software database or from user inputted data. Further, it allows to import 2D and 3D cad files from other CAD design tools. Calculations can be made for any world region just by choosing a location from the database or adding geographic coordinates, as for any day and hour. For artificial lighting modelling, the software has a database of luminaires provided by several manufacturers that can be added to the calculations. Thus, based on technical performance of luminaires the software also evaluates energy demands and efficiency of lighting solutions by giving the corresponding energy certification label.

In spite the software being essentially created as a tool to assess artificial lighting conditions, it has also been helpful to evaluate natural lighting performance, by simply deactivating the installed luminaires and activating Daylight Factor calculation mode for the standard CIE overcast sky conditions.

The parameters for computed data output are set by the user according to the goals of the assessment, including how those data will be shown and which information will be included.

The accuracy of prior versions of the software has been verified against the analytical test cases of CIE 1717:2006 – Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs showing their agreement (Mangkuto, 2016).

## 4. SCOPE AND FRAMEWOK OF THE RESEARCH

The main goal of the research was to understand how lighting simulation tools could assist the design process in the context of the restoration project to improve the component of natural light in order to achieve the required visual comfort levels and thus the energy efficiency parameter, without compromising the restoration principles.

### 4.1 Methodology

The research methodology consisted on developing a reference scenario 1 for a restoration project of a vernacular dwelling attending to the requirements of its adaptive reuse. The initial proposal was modelled in DIALux® Evo 9.1 to verify its conformity to the band of average illuminances required for the working stations as stated in prEN 12464-1 (Comité Européen de Normalisation, 2019).

The results outputted by the software were analyzed to understand which inner zones didn't meet the illuminance requirements.

Therefore, a second scenario 2 was developed to improve the illuminance on darker zones, which was also modelled and computed.

Finally, an overall comparison between the two scenarios showed which improvements were achieved or not, as well as which parameters may also be changed to further improve the natural light component of the restoration proposal.

### 4.2 Terms and definitions

For the current study were considered the terms and definitions established in the standard EN 12665: 2018 (Comité Européen de Normalisation, 2018).

**Luminous flux ( $\Phi$ ):** indicates the total amount of light that is emitted by a light source, expressed in lumen (lm).

**Luminous intensity ( $I_v$ ):** represents the spatial distribution of a luminous flux ( $\Phi$ ) radiating from a light source per solid angle ( $\Omega$ ), expressed in candela (cd), i.e. lumen (lm) per steradian (sr). Luminous Intensity ( $I_v$ ) is given by the formula:

$$I_v = \frac{\Phi}{\Omega}$$

**Illuminance ( $E$ ):** evaluates the density of luminous flux, thus it indicates the amount of luminous flux  $\Phi$  produced by a light source that falls on a given area  $A$ , expressed in lux (lx), i.e. lumen per square meter (lm/m<sup>2</sup>). Illuminance ( $E$ ) is given by the formula:

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

Illuminance can be described as horizontal Illuminance ( $E_h$ ) for horizontal surfaces and as vertical Illuminance ( $E_v$ ) for vertical surfaces. Illuminance can be measured at any point within a space like the working plan of a task.

**Average Illuminance ( $\bar{E}$ )** stands for the average of the luminous flux  $\Phi$  that fall on a given surface measured on a system grid of points.

**Minimum Illuminance ( $E_{min}$ )** stands for the minimum luminous flux  $\Phi$  measured on a point of the system grid of a surface.

**Maximum Illuminance ( $E_{max}$ )** stands for the maximum luminous flux  $\Phi$  measured on a point of the system grid of a surface.

**Overall Uniformity ( $U_o$  or  $g^1$ )** stands for the uniformity of the Illuminance over a surface as the ratio of Minimum Illuminance ( $E_{min}$ ) to Average Illuminance ( $\bar{E}$ ).

**Luminance ( $L_v$ ):** indicates the brightness of an illuminated surface, calculated as the ratio of luminous intensity of a given surface ( $I_v$ ) to the projected area of the surface ( $A_p$ ), expressed in cd/m<sup>2</sup>. Luminance ( $L_v$ ) is given by the formula:

$$L_v = \frac{I_v}{A_p}$$

**Reflectance ( $\rho$ ):** indicates the amount in percentage (%) of luminous flux  $\Phi$  that is reflected by a surface which is given by the reflectance properties of its materials and finishing.

Reflectance is the equivalent to **Light Reflectance Value (LRV)** and **Reflective Index ( $R_\lambda$ )** as both also measure the visible light that is reflected from a surface when illuminated by a natural or artificial light source. Reflection of light on a plane surface of a material is expressed as the ratio or percentage of the intensity of reflected light flux ( $I_R$ ) to the intensity of incident light flux ( $I_O$ ) (Cardarelli, 2018:65) according to the following formula:

$$R_\lambda (\%) = \frac{I_R}{I_O} * 100$$

Where:

$R_\lambda$  is the Reflective Index expressed as a percentage;

$I_R$  is the reflected light flux expressed in lx and  $I_O$  is the incident light flux expressed in lx.

**Daylight Factor (DF):** indicates how a point in indoor space is lit by daylight, thus it represents the proportion of daylight that penetrates a building as the ratio of daylight illuminance at a point in the interior ( $E_i$ ) to the outdoor illuminance ( $E_o$ ) from an unobstructed hemisphere of a standard CIE overcast sky conditions: diffuse light, for September 21<sup>st</sup> at 12:00 am, where the outdoor illuminance to be considered is 11921 lx, as established by the Commission Internationale de l'Éclairage (CIE).  $DF$  is calculated according to the formula:

$$DF(\%) = \frac{E_i}{E_o} * 100$$

here Interior Illuminance ( $E_i$ ) is the sum of the following different illuminances:

- The direct Illuminance of the sky if visible from the considered interior point ( $E_D$ );
- The Illuminance due to reflections on the outdoor environment ( $E_{ER}$ );
- The Illuminance due to the reflections on the indoor surfaces ( $E_{IR}$ ).



Thus, Interior Illuminance ( $E_i$ ) is given by the following formula:

$$E_i = E_D + E_{ER} + E_{IR}$$

## 5. APPLICATION OF DIALUX® EVO 9.1 TO A PROJECT OF BUILDING RESTORATION

### 5.1 Case study overview

A vernacular building located in the historic village of Catarredor, municipality of Lousã, Portugal (Fig. 2), was selected to study daylighting improvements using DIALux® evo 9.1. The ancient dwelling, partially ruined, was built using shale masonry and wood for the floor and roof structures (Fig. 3).



Fig. 2. Aerial view of the village of Catarredor, municipality of Lousã, Portugal



Fig. 3. SE and NE views of the ancient dwelling to be restored (S. Carneiro)

The restoration project principles were: 1) change the original use to an artisan cheese factory; 2) rebuilt the volume shape of the original building; 3) to use new materials to rebuild the missing parts, such as NE and NW façades and roof; and 4) not make changes to the existing walls that will be conserved.

## 5.2 Computing parameters and input data

The recommendations of EN 12464-1:2011 and the draft revision prEN 12464-1 that will supersede it (Comité Européen de Normalisation, 2019) were considered to set the computing parameters for the simulation scenarios. The required inputs by the software are already in compliance with those parameters.

### 5.2.1 Site coordinates

The site of intervention is located at: Latitude: 40.074765 and Longitude: -8.2199974.

### 5.2.2 Date and time

For the output data were considered the following dates and time: Winter solstice at 8:00, 12:00 and 17:00; and Summer solstice at 8:00, 12:00 and 17:00;

The hourly time was set according to the working time period.

### 5.2.3 Illuminance grid

A square grid cells was set to calculate illuminance values as recommended at clause 4.4 and given in Table A.1 annexed to prEN 12464-1 (Comité Européen de Normalisation, 2019:67) (Table 3).

Table 3. Grid points spacing recommended by prEN 12464-1 for the case study

Length of the area m	Maximum distance between grid points m	Minimum number of grid points
up to 10.00	1.00	10

In order to improve the accuracy of the computed results, the grid system for calculating Illuminance and Daylight Factor was set as a square grid cells with 0.50 m length (Table 4).

Table 4. Grid points spacing for the case study

Length of the area m	Distance between grid points m	Number of grid points
7.63	0.50	43

### 5.2.4 Working plan

The working plan for output results for Illuminance and Daylight Factor was set at 1.00 m high.

### 5.2.5 Lighting needs

According to prEN 12464-1, the required minimum illuminance level  $\bar{E}_{m,r}$ , specifies the maintained light level over the working station in order to fulfil the visual task. Plus, prEN 12464-1 adds a new upper illuminance level  $\bar{E}_{m,u}$  to specify the maximum illuminance level to assure the visual comfort. Thus, Average Illuminance ( $\bar{E}$ ) shall fall inside the band between  $\bar{E}_{m,r}$  and  $\bar{E}_{m,u}$  (Comité Européen de Normalisation, 2019:9).

For the lighting needs, the proposed new activity of artisan cheese factory has no direct equivalent on Clause 6 of prEN 12464-1 (ibid. 2019:23). Therefore, was chosen a similar activity as described on “Table 6.12 Industrial activities and crafts – Food stuffs and luxury food industry”.

For the case study was considered the reference values in “Table 6.12 - Ref. no. 6.12.2 - Sorting and washing of products, milling, mixing, packing” of prEN 12464-1 (ibid. 2019:34) which establishes the Average Illuminance ( $\bar{E}$ ) band between 300 lx and 500 lx.

### 5.2.6 Light Reflectance Value (LRV)

For visual working comfort, prEN 12464-1 recommends the following LRV for surface materials (Comité Européen de Normalisation, 2019:8): ceiling: 0.7 to 0.9; walls: 0.5 to 0.8; and floor: 0.2 to 0.6.



Values for light reflection of inner surface materials are listed in Table 5 as their conformity to prEN 12464-1.

Table 5. Light reflectance values (LRV) for inner surface materials

Surface	Material	Color	Finishing	$LRV_i$ %	$LRV_o$ %	$LRV_n$
Ground floor	Ceramic tile	Grey	Matte	26.0	26.0	✓
Upper floor	Stainless steel		Rough	58.0		
Walls	Wood panel	White	Matte	50.0	49.3	✓
	Ceramic tile		Smooth	80.0		
Ceiling	Wood panel		Matte	50.0	50.	✗

$LRV_i$ : Input LRV.

$LRV_o$ : Output LRV by the software.

$LRV_n$ : LRV conformity to prEN 12464-1 recommendations being checked as:

✗ No conformity, ✓ Near Conformity, and ✓ Conformity.

LRV for stainless steel from Blanco & González-Leal (2019).

### 5.2.7 Glazing properties

Glazing system is composed by a steel frame and a double glazing with low E Coating. Steel frame allows the reduction of the width of the framing while insuring its structural strength.

Characterization of the glazing solutions adopted are shown in Table 6.

Table 6. Characterization of glazing for the façade apertures

Aperture	Orientation	Area $m^2$	Area of glass $m^2$	Glazing*	$g^*$	$T^*$	$U_g^*$ $W/m^2.K$
Door 1	SE	1.80	0	Double Glazing with Low E Coating (4mm float + 16mm space + 4mm float)	0.59	0.80	1.20
Door 2	NW	1.80	1.36				
Window 1	NW	5.75	5.27				
Window 2	NE	3.65	3.26				
Window 3	NE	0.28	0.22				

\* From EN ISO 25022-1:2017 (Comité Européen de Normalisation, 2017) and DIALux® database

### 5.3 Computed scenarios and output data parameters

Two scenarios were compared for the architectural proposal:

- Scenario 1: apertures on the rebuilt NE and NW façades (Fig. 4);
- Scenario 2: apertures on the rebuilt NE and NW façades plus light well on the rebuilt roof (Fig. 5).



Fig. 4. Scenario 1: views of the rebuilt exterior facing NE and NW, and interior ground floor (S. Carneiro)

To verify the possible improvement of natural light inside the building at the ground level without intervening in the existing SE façade it was proposed a second scenario which adds a light well at the rebuilt roof (Fig. 5).

The top of the light well was covered by a clear laminated tempered glass.

When designing the light well, a highly reflective material had to be proposed to maximize reflection of incident light flux inside it, but also a durable and low maintenance one. Therefore, the chosen solution was to coat its interior surface with a smooth aluminum plate.

Reflection of light in smooth aluminum occurs on a specular way, which means that the angle of reflection equals the angle of incidence. Reflective Index ( $R_i$ ) of smooth aluminum under normal incidence equals 0.87 (Cardarelli, 2018:255) which is near the maximum of reflection for visible light. Furthermore, aluminum shows the same reflectivity to all the wavelengths of the visible spectrum (Kitsinelis, 2011:7) and it is highly resistant to corrosion which increases its durability and decreases maintenance costs.

The bottom of the light well was closed by a single clear glass pane.

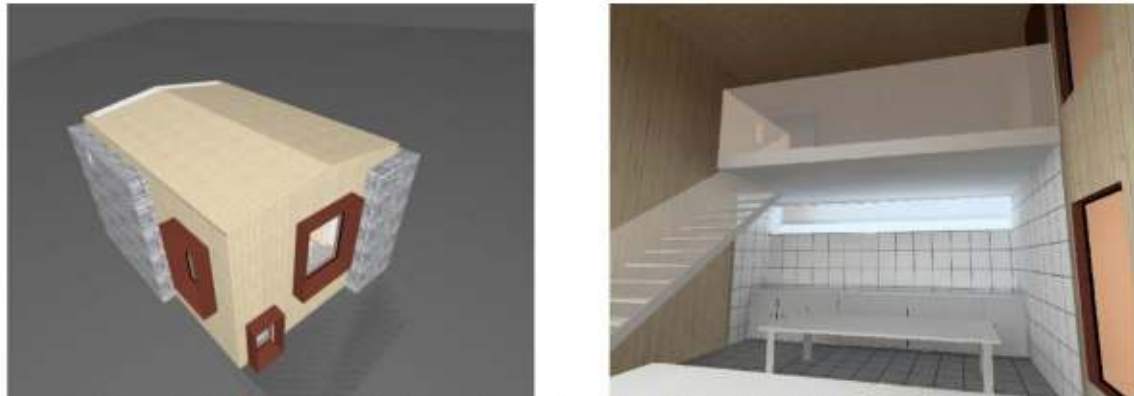


Fig. 5. Scenario 2: views of the rebuilt exterior facing NE and NW with SE light well, and interior ground floor (S. Carneiro)

Output results for each scenario were computed for the reference working plan considered as being at 1.00 m height according to the system grid as following: Illuminances at the grid points; Illuminance maps; minimum, medium and maximum Illuminances in the room; Daylight Factors at the grid points; Daylight Factor maps; and Daylight Factor in the room.

#### 5.4 Output results and discussion

Conformity of output results for Average Illuminance ( $\bar{E}$ ) and Overall Uniformity ( $U_o$ ) of Illuminance on the working station as required by prEN 12464-1 were observed and checked as following: ✗ No conformity; ✓ Near Conformity; and ✓ Conformity.

##### 5.4.1 Overview of output results for Scenario 1: apertures on the rebuilt façades

Output data for Scenario 1 are summarized in Table 7.

Table 7. Summary of output results for Scenario 1

Day and time	Illuminance ( $E$ ) lx				Overall Uniformity* $U_o$	Daylight Factor (DF) %		
	$\bar{E}$	cf	$E_{min}$	$E_{max}$		DF	DF <sub>min</sub>	DF <sub>max</sub>
Winter Solstice								
8:00	12.2	✗	2.0	38.3				
12:00	224.0	✗	37.6	705.0				
17:00	14.7	✗	2.4	46.1				
Summer Solstice					0.17 ✓	2.772	1.034	6.286
8:00	260.0	✗	43.5	817.0				
12:00	476.0	✓	79.8	1498.0				
17:00	273.0	✓	45.7	857.0				

\* Illuminance uniformity shall be  $U_o \geq 0.10$  for daylighting (Comité Européen de Normalisation, 2019:13).

cf: Illuminance conformity on the working station as required by prEN 12464-1.



### 5.4.2 Overview of results for Scenario 2: apertures on the rebuilt façades plus light well on the rebuilt roof

Output data for Scenario 2 are summarized in Table 8.

Table 8. Summary of output results for Scenario 2

Day and time	Illuminance ( $E$ ) lx				Overall Uniformity*	Daylight Factor (DF) %		
	$\bar{E}$	cf	$E_{min}$	$E_{max}$		DF	$DF_{min}$	$DF_{max}$
Winter Solstice								
8:00	13.7	✗	2.0	38.9				
12:00	252.0	✓	36.8	716.0				
17:00	16.4	✗	2.4	46.8				
Summer Solstice					0.15 ✓	2.977	1.563	6.295
8:00	291.0	✓	2.0	829.0				
12:00	534.0	✓	36.8	1519.0				
17:00	306.0	✓	2.4	870.0				

\* Illuminance uniformity shall be  $U_o \geq 0.10$  for daylighting (Comité Européen de Normalisation, 2019:13)

cf: Illuminance conformity on the working station as required by prEN 12464-1.

### 5.4.3 Discussion of outputted results

Results for the first scenario have shown that dark zones were created inside the building, mainly at the ground floor below the intermediate level since indoors illuminance has no significant contribute from the illuminance due to direct visible sky. Indoors illuminance results consist mainly on the illuminance due to reflections on the outdoor environment ( $E_{ER}$ ) and the Illuminance due to the reflections on the indoor surfaces ( $E_{IR}$ ).

Comparing the illuminance maps and 3D illuminance renders (Fig. 6 to Fig. 9) for Winter Solstice and Summer Solstice, it's clear that the addition of the light well on Scenario 2, which has no impact on the existing SE façade, allowed to improve the overall performance of the illuminance values obtained at the working plan, by adding a contribution of the illuminance due to direct visible sky that hits the ground floor by reflection inside the light well.

It is also possible to verify that illuminance values on the grid points inside the working station fall in the band of 300 to 500 lx as requested by prEN 12464-1 for this industrial activity.

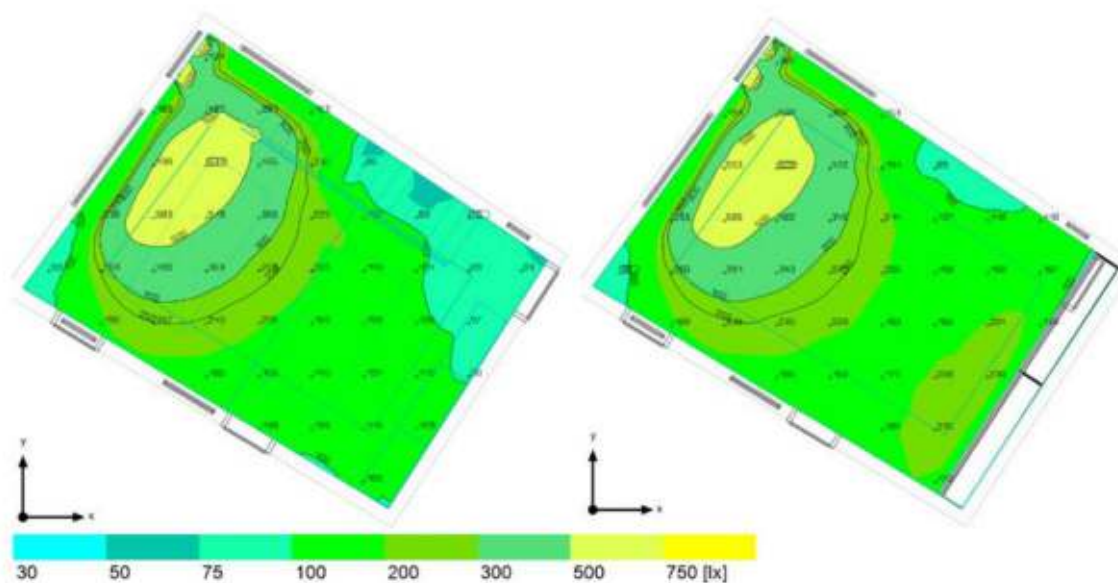


Fig. 6. Illuminance maps for Winter Solstice on the working plan at 12:00 for Scenarios 1 and 2

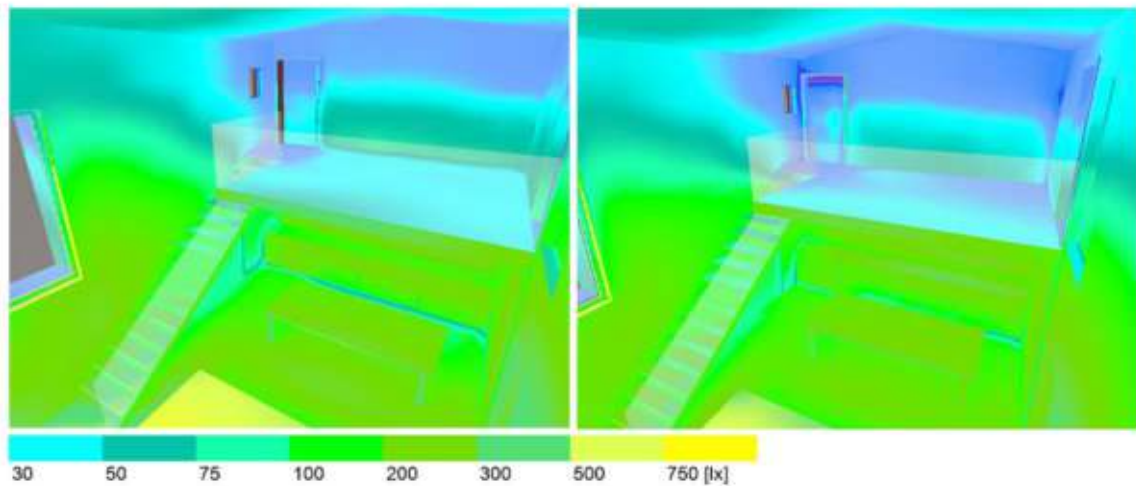


Fig. 7. 3D renders for interior Illuminances on Winter Solstices at 12:00 for Scenarios 1 and 2

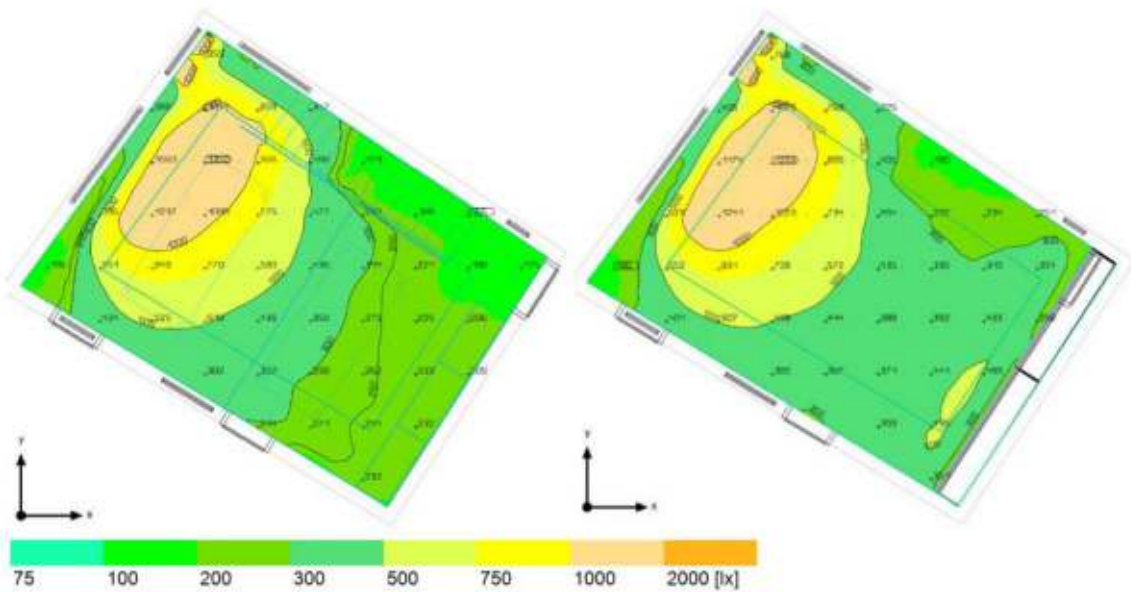


Fig. 8. Illuminance maps for Summer Solstice on the working plan at 12:00 for Scenarios 1 and 2

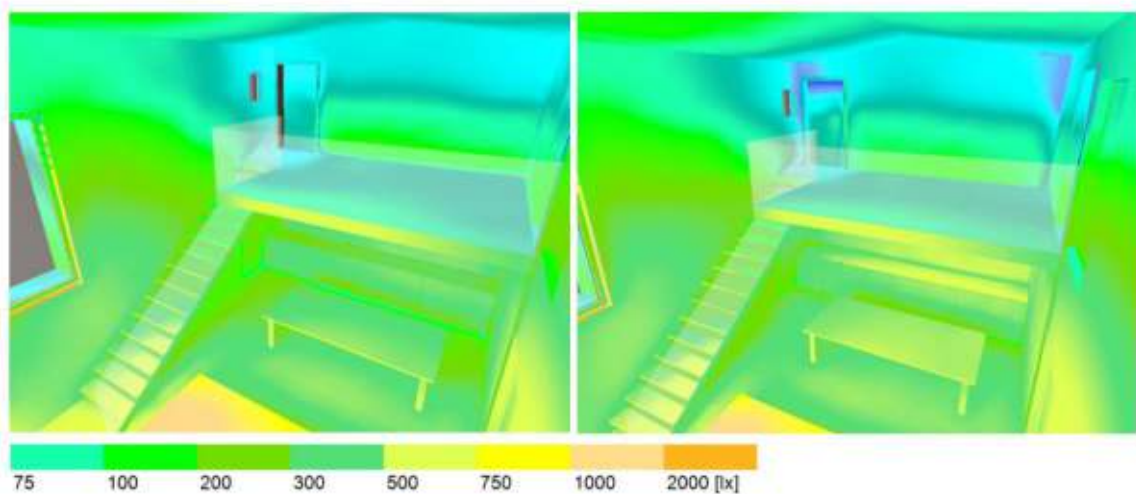


Fig. 9. 3D renders for interior Illuminances on Summer Solstices at 12:00 for Scenarios 1 and 2

The overall improvement of Average Illuminance ( $\bar{E}$ ) for scenario 2 during the working hourly is shown in Fig. 10.



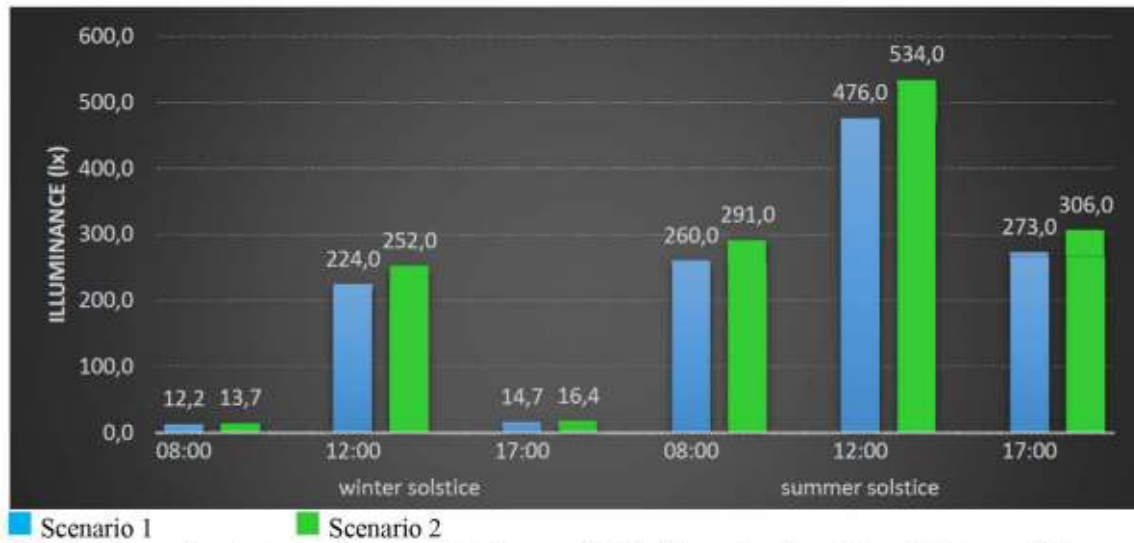


Fig. 10. Comparison between Average Illuminance ( $\bar{E}$ ) for Scenarios 1 and 2 on Winter and Summer Solstices

Adding the light well allowed to improve the Average Illuminance ( $\bar{E}$ ) between 11.6% and 12.5% for the second scenario regarding the first one (Table 9).

Table 9. Percentage of improvement for Illuminance ( $E$ ) and Daylight Factor ( $DF$ ) for Scenario 2 regarding Scenario 1

Day and time	Illuminance ( $E$ )			Overall Uniformity*	Daylight Factor ( $DF$ )		
	$\bar{E}$	$E_{min}$	$E_{max}$		$DF$	$DF_{min}$	$DF_{max}$
Winter Solstice							
8:00	12.3	0	1.6	-11.8	7.4	51.2	0.1
12:00	12.5	-2.1	1.6				
17:00	11.6	0	1.5				
Summer Solstice							
8:00	11.9	-2.1	1.5	-11.8	7.4	51.2	0.1
12:00	12.2	-2.1	1.4				
17:00	12.1	-2.2	1.5				

Reduction of 11.8% on Overall Illuminance Uniformity ( $U_o$ ) of natural light is due to the difference of illuminance between the ground floor and the upper intermediate floor, as the ground floor became more illuminated than it is on the scenario 1.

One way to further improve the average Illuminance in the Winter season would be to change the wooden surfaces by a material or finishing that fully meets the reference bands for light reflectance of walls (0.5 to 0.8) and ceilings (0.7 to 0.9) as required by prEN1264-1:2019 (Comité Européen de Normalisation, 2019:8).

## 6. CONCLUSIONS

The lighting simulation software DIALux® evo 9.1 has shown to be a relevant aid to the development of the restoration project, regarding the goal of reducing the energy needs for artificial light by improving the amount of natural light hitting the interior surfaces. The easy way the building

is modelled and the way how outputted results are calculated and returned (e.g. data tables, Daylight Factor maps, Illuminances maps and 3D renders) allows a fast verification of conformities with standards' requirements.

Changes on parameters and recalculations are made in real time, which allows to test several solutions namely when changing surface materials and adjusting their light reflection values and glare, easing the decision making.

In this study, DIALux® evo 9.1 was only tested for verifying natural light hitting the working plan, which is a small part of the software capability on generating both natural and artificial lighting scenarios for exterior and interior spaces.

## REFERENCES

- Bastian, Z., Grove-Smith, J. & Krick, B. 2015. Building physics. In A. Troi & Z. Bastian (eds.), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings - A Handbook*. Basel: Birkhauser Verlag. 14-26.
- Blanco, E. & González-Leal (2019). Optical characterization of the surface of stainless steels for building lining. *Acero Inoxidable* [on-line]. 85, pp. 28-30. Available at <http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/24.Optical-characterization-of-the-surface-of-stainless-steels-intended-for-building-lining.pdf> [Accessed 25 September 2020].
- Cardarelli, F. (2018). *Materials Handbook - A Concise Desktop Reference*. Cham: Springer.
- Comité Européen de Normalisation (CEN) (2011). *EN 410:2011 Glass in building - Determination of luminous and solar characteristics of glazing*. Brussels: CEN.
- Comité Européen de Normalisation (CEN) (2017). *EN ISO 52022-1:2017 Energy performance of buildings - Thermal, solar and daylight properties of building components and elements - Part 1: Simplified calculation method of the solar and daylight characteristics for solar protection devices combined with glazing*. Brussels: CEN.
- Comité Européen de Normalisation (CEN) (2018). *EN 12665:2018 Basic terms and criteria for specifying lighting requirements*. Brussels: CEN.
- Comité Européen de Normalisation (CEN) (2019). *prEN 12464-1 Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places*. Brussels: CEN.
- DeKay, M. & Brown, G. Z. (2014). *Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies*. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons.
- Dial (2016). *DIALux evo Manual - A Collection of All Wiki Articles*.
- ICOMOS (2000). *The Charter of Krakow 2000 - Principles for Conservation and Restoration of Built Heritage*.
- International Organization for Standardization (2017). *ISO 52022-1:2017 Energy performance of buildings - Thermal, solar and daylight properties of building components and elements - Part 1: Simplified calculation method of the solar and daylight characteristics for solar protection devices combined with glazing*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Kitsinelis, S. (2011). *Light Sources - Technologies and Applications*. Boca Raton (FL): CRC Press.
- Krick, B. 2015. Windows and shading. In A. Troi & Z. Bastian (eds.), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings - A Handbook*. Basel: Birkhauser Verlag. 142-152.
- Mangkuto, R. A. (2016). Validation of DIALux 4.12 and DIALux evo 4.1 against the analytical test cases of CIE 171:2006. *Leukos*, 12(3), 139-150.
- Philips, D. (2004). *Daylighting - Natural Light in Architecture*. Oxford: Architectural Press.
- Russel, S. (2012). *The Architecture of Light - Architectural Lighting Design Concepts and Techniques*. La Jolla (CA): Conceptnine.
- Schittich, C., Staib, G., Balkow, D., Schuler, M. & Sobek, W. (2007). *Glass Construction Manual*. Basel: Birkhauser.